Ricardo Helou Doca
Ronaldo Fogo

Editor responsável:
Fabio Martins de Leonardo

MODERNA SUPERAÇÃO!

FÍSICA

MANUAL DO PROFESSOR

VOLUME
ÚNICO

ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento:
Ciências da Natureza
e suas Tecnologias

Componente curricular:
Física

MATERIAL DE DIVULGAÇÃO.
VERSÃO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO.
PNLD 2026 - ENSINO MÉDIO
Código da coleção:
0017 PZ6 01 01 203 815

MODERNA

Ricardo Helou Doca
Licenciado em Matemática pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Moema (SP).
Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia Industrial da Fundação de Ciências Aplicadas (SP).
Professor de Física em escolas e cursos pré-vestibulares.

Ronaldo Fogo
Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo.
Membro fundador da Olimpíada Internacional Júnior de Ciências (IJSO).
Professor de Física em escolas e cursos pré-vestibulares.

Editor responsável:
Fabio Martins de Leonardo
Licenciado em Matemática pela Universidade de São Paulo. Editor.

MODERNA SUPERAÇÃO!

FÍSICA

VOLUME ÚNICO
ENSINO MÉDIO

Área de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias
Componente curricular: Física

MANUAL DO PROFESSOR

1ª edição
São Paulo, 2024

MODERNA

Elaboração de originais:

Carlos Mariz de Oliveira Teixeira
Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo. Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo. Doutor em Ciências no programa: Física pela Universidade de São Paulo. Professor.

Celso Luiz Mattos
Licenciado em Física pela Universidade Federal de São Carlos (SP). Mestre em Educação pela Universidade Federal de São Carlos (SP). Professor.

Fernanda de Araújo Patrocínio
Bacharela em Comunicação Social pela Faculdade Cásper Líbero (SP). Mestra em Comunicação (área de concentração: Comunicação Midiática) pela Universidade Federal de Santa Maria (RS). Doutora em Ciências (área de concentração: Sociologia) pela Universidade de São Paulo. Jornalista.

Livia Aceto
Bacharela em Física pela Universidade de São Paulo. Mestra em Educação pela Universidade Federal de São Carlos (SP). Editora.

Susana Sarmiento
Bacharela em Comunicação Social pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (SP). Jornalista.

Taynara Nassar da Silva
Licenciada em Física pela Universidade de São Paulo. Professora.

Organização dos objetos digitais: Pâmela Castro
Elaboração dos objetos digitais: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira

Edição executiva: Fabio Martins de Leonardo, Glaucia Teixeira
Edição de texto: Lívia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Felipe Sanches Lopez, Hugo Sália dos Santos, Taynara Nassar da Silva
Assistência editorial: Edna G. Santos
Assessoria didático-pedagógica: Valéria Silva Dias
Preparação de texto: Mariane Genaro
Gerência de planejamento editorial e revisão: Maria de Lourdes Rodrigues
Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero, Mônica Rodrigues de Lima
Revisão: Ana Cortazzo, Érika Kurihara, Luiz Bazana, Rita de Cássia Sam, Sirlene Prignolato, Tatiana Malheiro
Gerência de *design,* produção gráfica e digital: Patricia Costa
Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite
Projeto gráfico: Bruno Tonel, Everson de Paula, Vinicius Rossignol
Capa: Everson de Paula, Paula Miranda Santos
Fotos: Atleta cadeirante praticando *badminton*. © Alex Liew/E+/Getty Images
Coordenação de produção gráfica: Aderson Oliveira
Coordenação de arte: Mônica Maldonado, Wilson Gazzoni Agostinho
Edição de arte: Ari Carlos Neto
Editoração eletrônica: Teclas Editorial
Coordenação de pesquisa iconográfica: Flávia Aline de Morais
Pesquisa iconográfica: Gabriela Araujo
Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues
Tratamento de imagens: Ademir Baptista, Ana Isabela Pithan Maraschin, Denise Feitosa, Vânia Maia
Pré-impressão: Alexandre Petreca, Marcio H. Kamoto
Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro
Impressão e acabamento:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Doca, Ricardo Helou
Moderna superação! física / Ricardo Helou Doca, Ronaldo Fogo ; editor responsável Fabio Martins de Leonardo. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2024.

Obra em volume único do 1°, 2° e 3° anos do ensino médio.
Componente curricular: Física.
Área de conhecimento: Ciências da natureza e suas tecnologias.
ISBN 978-85-16-14051-9 (aluno)
ISBN 978-85-16-14052-6 (professor)

1. Física (Ensino médio) I. Fogo, Ronaldo. II. Leonardo, editor responsável Fabio Martins de. III. Título.

24-227900 CDD-530.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Ensino médio 530.7

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
Todos os direitos reservados.

EDITORA MODERNA LTDA.
Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Canal de atendimento: 0303 663 3762
www.moderna.com.br
2024
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

APRESENTAÇÃO

Conversando com você, estudante,

Estamos vivenciando um momento sem precedentes de integração mundial e de produção e fluxo de informação, promovidos principalmente pelo uso disseminado de tecnologias da comunicação. Nesse cenário, as contribuições das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ganham ainda mais importância, trazendo novos dados acerca dos fenômenos naturais e novas interpretações daquilo que já conhecíamos, desvendando fronteiras tecnológicas cada vez mais amplas.

Diante dessa realidade, almejamos uma educação de qualidade amplamente acessível, pautada em dados científicos e no desenvolvimento de senso crítico, fornecendo instrumentos para que você faça escolhas conscientes a fim de melhorar a sua qualidade de vida e a das demais pessoas. Afinal, entender a natureza nos possibilita adotar posturas mais adequadas diante dos enormes desafios do mundo atual.

Por meio desta coleção, vamos analisar como a Física, a Biologia, a Química e suas tecnologias estão integradas na resolução de problemas reais. Nosso objetivo é que você encontre o estímulo para despertar seu olhar para a natureza de modo crítico, analítico, ético e responsável. Para isso, selecionamos temáticas atuais e relevantes que serão abordadas à luz dessas ciências ao longo de cada uma das unidades. Com essas escolhas, procuramos valorizar o desenvolvimento de competências e habilidades fundamentais para sua formação como indivíduo e cidadão de um mundo em constante transformação.

Assim, convidamos você a desfrutar do prazer de entender a natureza, de fazer parte dela e desvendar sua beleza.

Com carinho,

Os Autores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CONHEÇA SEU LIVRO

Este volume está dividido em seis unidades temáticas, cada uma com quatro capítulos que abrangem diferentes tópicos e seções. Entenda, a seguir, a estrutura do seu livro e como cada parte dele pode auxiliar o seu processo de aprendizagem.

UNIDADE 1

UNIVERSO, TERRA E VIDA

Fonte: WEBB SPACE TELESCOPE. *Exoplanet K2-18 b* (Illustration). [S. l.], 11 set. 2023. Disponível em: https://webbtelescope.org/contents/media/images/2023/139/01H9R88HGBYXYRMAWW2SB1YDT2?. Acesso em 19 abr. 2024.

Representação artística do exoplaneta K2-18 b, a cerca de 120 anos-luz da Terra, com base em dados obtidos pelo telescópio espacial James Webb, que suportam a hipótese de que pode existir água líquida sob a atmosfera rica em hidrogênio do planeta. (Cores-fantasia.)

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

Estima-se que o Universo observável tenha bilhões de galáxias e que cada uma delas possa abrigar bilhões de estrelas. Ainda que nem todas as estrelas tenham um sistema planetário, os cientistas estimam que a maioria deva ter. Imagine, então, quantos planetas podem existir no Universo. Esse número tão grande pode nos fazer questionar: Como o Universo teve início? O planeta Terra é único? Existe vida fora da Terra? Quais são as condições necessárias para a vida? Responder a essas e a muitas outras perguntas relacionadas à origem do Universo e à vida requer os esforços de cientistas de diversas áreas.

Nesta unidade, vamos estudar a teoria científica mais aceita para explicar a origem e a evolução do Universo, a evolução das estrelas, a formação e a estrutura do Sistema Solar e sua relação com a busca de vida fora da Terra, além dos movimentos dos corpos no espaço e na superfície terrestre.

Registre em seu caderno

Pense nisso!

1. O Universo sempre existiu ou teria ocorrido um início para ele?
2. As estrelas, em seu processo de evolução, produzem muitos dos elementos químicos distribuídos pelo Universo, como o oxigênio e o nitrogênio. A composição química dos planetas que orbitam diferentes estrelas no Universo afeta a possibilidade de existência de vida como a conhecemos?
3. O movimento dos corpos celestes, assim como o movimento dos corpos na superfície da Terra, pode ser caracterizado por grandezas físicas como a velocidade, a aceleração, o deslocamento e o tempo. O que essas grandezas representam e quais são algumas das unidades de medida utilizadas para sua medição?

14

Abertura de unidade

A imagem (ou composição de imagens) e o texto proporcionam contextualização atual relacionada à temática da unidade, convidando você a refletir.

As questões do boxe **Pense nisso!** ajudam a estabelecer relações entre o que você já sabe e o que será estudado na unidade.

Glossário

Significado de termos que talvez você ainda não conheça.

Os termos estão destacados com uma cor diferente do texto e seu significado é apresentado em um quadro de mesma cor.

Introdução à Física Quântica

A **Física Quântica** é uma área da Física que começou a se desenvolver no final do século XIX e início do século XX, quando várias tentativas de aplicar as leis da Física Clássica em nível atômico se mostraram infrutíferas. Fenômenos como a emissão de radiação pelos corpos aquecidos e o efeito fotoelétrico, por exemplo, não podiam ser elucidados pelas teorias existentes até então. Entre 1900 e 1930 foi desenvolvida a área denominada Física Quântica, que se mostrou apta a explicar o comportamento das moléculas, dos átomos e dos núcleos atômicos em várias situações. A área recebeu o nome de Física Quântica por abarcar grandezas que são quantizáveis, isto é, são múltiplos inteiros de um valor mínimo: o *quantum*.

Zero absoluto: a mais baixa temperatura que pode ser obtida, teoricamente; corresponde a 0 K (zero Kelvin), que equivale a −273,15 °C ou −459,67 °F.

A catástrofe do ultravioleta

Qualquer objeto que esteja a uma temperatura acima do **zero absoluto** emite radiação eletromagnética. Essa radiação está relacionada com sua temperatura, por isso é conhecida como radiação térmica. Em temperaturas abaixo de 600 °C, a maior parte da radiação emitida é do tipo infravermelho, portanto invisível ao olho humano. Mas o corpo humano ou uma caneca com bebida quente, por exemplo, emitem radiação infravermelha suficiente para que possamos perceber-lá na forma de calor. A figura a seguir mostra uma imagem obtida por meio de uma câmera de infravermelho.

Imagem obtida por meio de uma câmera de infravermelho. A barra vertical lateral representa a escala de temperatura relacionada às cores apresentadas na imagem. (Cores-fantasia.)

Câmeras de infravermelho, também chamadas câmeras térmicas ou termográficas, detectam a intensidade da radiação infravermelha emitida por um corpo, que pode ser relacionada com sua temperatura, e convertem essa informação em uma imagem, em que as diferentes cores estão relacionadas a uma escala de temperatura.

Para verificar esse fenômeno, coloque em uma caneca água quente o bastante para esquentar sua superfície, tomando cuidado para não se queimar. Mantendo as mãos próximas à caneca, mas sem encostar nela, você perceberá que elas esquentam levemente. Outro teste pode ser feito, dessa vez com canecas de diferentes cores. Canecas mais escuras tendem a absorver e emitir mais radiação do que as mais claras.

Cuidado ao manusear objetos e líquidos quentes para evitar ferimentos.

(A) Experimento de troca de calor entre as mãos de uma pessoa e uma caneca de superfície branca com água aquecida em seu interior. (B) No experimento com a caneca de superfície preta, com a água nas mesmas condições de temperatura, a radiação térmica percebida pelas mãos é maior.

Este é um aspecto interessante da radiação térmica: bons absorvedores de radiação também são bons emissores. Por isso radiadores de carro e de geladeira, por exemplo, são pintados de preto, assim a dissipação de energia por irradiação é maior.

416

Abertura de capítulo

Texto e imagem que introduzem o assunto a ser estudado ao longo do capítulo.

Capítulo 7

Energia e sua conservação

A pesca artesanal é uma atividade fundamental para o desenvolvimento das pequenas comunidades de pescadores em diferentes regiões do Brasil e do mundo, gerando menos resíduos e minimizando o consumo de energia elétrica (Praia da Armação, Búzios, RJ, 2018).

Quanto mais intensas forem as atividades necessárias à sobrevivência, maior será a necessidade energética, seja para uma planta, seja para os animais, seja para os seres humanos. As plantas obtêm energia por meio da luz solar; já os animais, incluindo os seres humanos, a obtêm dos alimentos que consomem. O Sol é a principal fonte de energia primária que abastece a Terra, mas será que toda a energia proveniente do Sol e dos alimentos é aproveitada? O que acontece com a energia não aproveitada?

Neste capítulo, vamos estudar os tipos de energia mecânica e as aplicações do princípio da conservação da energia a sistemas mecânicos conservativos.

Princípio da conservação da energia

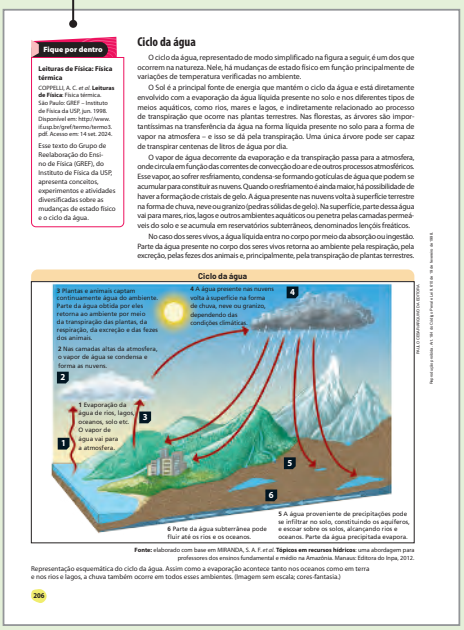
O conceito de energia é bastante amplo e abstrato e impacta nossa maneira de interagir com o mundo. Para entender esse conceito, é importante compreender que energia é uma grandeza física que não pode ser criada nem destruída, mas, sim, transformada de uma forma em outras. Assim, apesar de se apresentar sob diversas formas, a **energia** é conservada. Isso significa que, embora ela possa ser transformada de uma forma em outras, na sua totalidade é mantida. O conceito físico de energia pode ser relacionado ao conceito de trabalho.

115

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

O boxe traz sugestões que complementam as informações do livro (como filmes, simuladores, artigos, livros), contribuindo para que você seja protagonista do seu aprendizado e da construção do conhecimento.



Fique por dentro

Leituras de Física: Física térmica

COPPELLI, A. C. *et al.* **Leituras de Física**: Física térmica. São Paulo: GREF – Instituto de Física da USP, jun. 1998. Disponível em: http://www.if.usp.br/gref/herms/herms3.pdf. Acesso em: 14 set. 2024.

Esse texto do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), do Instituto de Física da USP, apresenta conceitos, experimentos e atividades diversificadas sobre as mudanças de estado físico e o ciclo da água.

Ciclo da água

O ciclo da água, representado de modo simplificado na figura a seguir, é um dos que ocorrem na natureza. Nele, há mudanças de estado físico em função principalmente de variações de temperatura verificadas no ambiente.

O Sol é a principal fonte de energia que mantém o ciclo da água e está diretamente envolvido com a evaporação da água líquida presente no solo e nos diferentes tipos de meios aquáticos, como rios, mares e lagos, e indiretamente relacionado ao processo de transpiração que ocorre nas plantas terrestres. Nas florestas, as árvores são importantíssimas na transferência da água na forma líquida presente no solo para a forma de vapor na atmosfera – e isso se dá pela transpiração. Uma única árvore pode ser capaz de transpirar centenas de litros de água por dia.

O vapor de água decorrente da evaporação e da transpiração passa para a atmosfera, onde circula em função das correntes de convecção do ar e de outros processos atmosféricos. Esse vapor, ao sofrer resfriamento, condensa-se formando gotículas de água que podem se acumular para constituir as nuvens. Quando o resfriamento é ainda maior, há possibilidade de haver a formação de cristais de gelo. A água presente nas nuvens volta à superfície terrestre na forma de chuva, neve ou granizo (pedras sólidas de gelo). Na superfície, parte dessa água vai para mares, rios, lagos e outros ambientes aquáticos ou penetra pelas camadas permeáveis do solo e se acumula em reservatórios subterrâneos, denominados lençóis freáticos.

No caso dos seres vivos, a água líquida entra no corpo por meio da absorção ou ingestão. Parte da água presente no corpo dos seres vivos retorna ao ambiente pela respiração, pela excreção, pelas fezes dos animais e, principalmente, pela transpiração de plantas terrestres.

Ciclo da água

3 Plantas e animais captam continuamente água do ambiente. Parte da água obtida por eles retorna ao ambiente por meio da transpiração das plantas, da respiração, da excreção e das fezes dos animais.

4 A água presente nas nuvens volta à superfície na forma de chuva, neve ou granizo, dependendo das condições climáticas.

2 Nas camadas altas da atmosfera, o vapor de água se condensa e forma as nuvens.

1 Evaporação da água de rios, lagos, oceanos, solo etc. O vapor de água vai para a atmosfera.

6 Parte da água subterrânea pode fluir até os rios e os oceanos.

5 A água proveniente de precipitações pode se infiltrar no solo, constituindo os aquíferos, e escoar sobre os solos, alcançando rios e oceanos. Parte da água precipitada evapora.

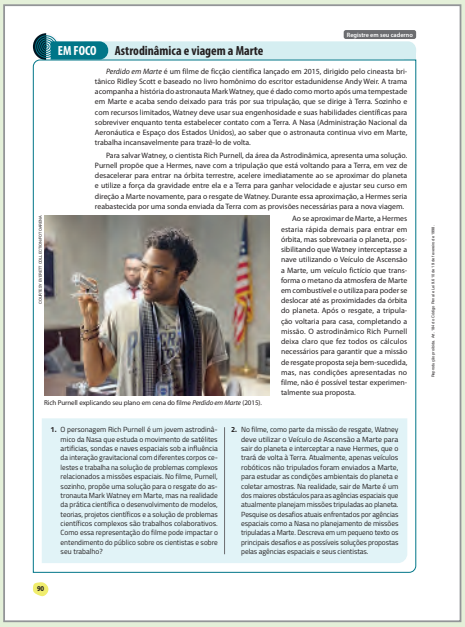
Fonte: elaborado com base em MIRANDA, S. A. F. *et al.* **Tópicos em recursos hídricos**: uma abordagem para professores dos ensinos fundamental e médio na Amazônia. Manaus: Editora do Inpa, 2012.

Representação esquemática do ciclo da água. Assim como a evaporação acontece tanto nos oceanos como em terra e nos rios e lagos, a chuva também ocorre em todos esses ambientes. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

206

Em foco

Seção com textos autorais ou de terceiros acompanhados de atividades que integram o conteúdo a outras áreas de conhecimento e favorecem o exercício da argumentação, leitura inferencial e pensamento crítico.



Registre em seu caderno

EM FOCO Astrodinâmica e viagem a Marte

Perdido em Marte é um filme de ficção científica lançado em 2015, dirigido pelo cineasta britânico Ridley Scott e baseado no livro homônimo do escritor estadunidense Andy Weir. A trama acompanha a história do astronauta Mark Watney, que é dado como morto após uma tempestade em Marte e acaba sendo deixado para trás por sua tripulação, que se dirige à Terra. Sozinho e com recursos limitados, Watney deve usar sua engenhosidade e suas habilidades científicas para sobreviver enquanto tenta estabelecer contato com a Terra. A Nasa (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos), ao saber que o astronauta continua vivo em Marte, trabalha incansavelmente para trazê-lo de volta.

Para salvar Watney, o cientista Rich Purnell, da área da Astrodinâmica, apresenta uma solução. Purnell propõe que a Hermes, nave com a tripulação que está voltando para a Terra, em vez de desacelerar para entrar na órbita terrestre, acelere imediatamente ao se aproximar do planeta e utilize a força da gravidade entre ela e a Terra para ganhar velocidade e ajustar seu curso em direção a Marte novamente, para o resgate de Watney. Durante essa aproximação, a Hermes seria reabastecida por uma sonda enviada da Terra com as provisões necessárias para a nova viagem.

Ao se aproximar de Marte, a Hermes estaria rápida demais para entrar em órbita, mas sobrevoaria o planeta, possibilitando que Watney interceptasse a nave utilizando o Veículo de Ascensão a Marte, um veículo fictício que transforma o metano da atmosfera de Marte em combustível e o utiliza para poder se deslocar até as proximidades da órbita do planeta. Após o resgate, a tripulação voltaria para casa, completando a missão. O astrodinâmico Rich Purnell deixa claro que fez todos os cálculos necessários para garantir que a missão de resgate proposta seja bem-sucedida, mas, nas condições apresentadas no filme, não é possível testar experimentalmente sua proposta.

Rich Purnell explicando seu plano em cena do filme *Perdido em Marte* (2015).

1. O personagem Rich Purnell é um jovem astrodinâmico da Nasa que estuda o movimento de satélites artificiais, sondas e naves espaciais sob a influência da interação gravitacional com diferentes corpos celestes e trabalha na solução de problemas complexos relacionados a missões espaciais. No filme, Purnell, sozinho, propõe uma solução para o resgate do astronauta Mark Watney em Marte, mas na realidade da prática científica o desenvolvimento de modelos, teorias, projetos científicos e a solução de problemas científicos complexos são trabalhos colaborativos. Como essa representação do filme pode impactar o entendimento do público sobre os cientistas e sobre seu trabalho?
2. No filme, como parte da missão de resgate, Watney deve utilizar o Veículo de Ascensão a Marte para sair do planeta e interceptar a nave Hermes, que o trará de volta à Terra. Atualmente, apenas veículos robóticos não tripulados foram enviados a Marte, para estudar as condições ambientais do planeta e coletar amostras. Na realidade, sair de Marte é um dos maiores obstáculos para as agências espaciais que atualmente planejam missões tripuladas ao planeta. Pesquise os desafios atuais enfrentados por agências espaciais como a Nasa no planejamento de missões tripuladas a Marte. Descreva em um pequeno texto os principais desafios e as possíveis soluções propostas pelas agências espaciais e seus cientistas.

90

Trabalho e juventudes

Seção que relaciona o assunto do capítulo com culturas e vivências juvenis, aspectos do mundo do trabalho e/ou do projeto de vida

Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

Robótica: carreira para os jovens, soluções para a sociedade

ODS 4 ODS 5

Projetos em desenvolvimento em centros de pesquisas universitários e em uma *startup* paulista têm potencial de atender a uma demanda latente no país por aparelhos robóticos direcionados à mobilidade de pessoas com restrições motoras. Pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) anunciaram [...] a conclusão de um protótipo de exoesqueleto robótico capaz de auxiliar o movimento dos membros inferiores de vítimas de doenças como acidente vascular cerebral (AVC), mal de Parkinson e lesão da medula espinhal. O aparelho utiliza algoritmos para identificar a dificuldade específica do paciente em cada articulação da perna, como tornozelo, joelho e quadril, e complementa automaticamente o esforço necessário para a conclusão do movimento. [...]

[...] O [protótipo] incorpora técnicas oriundas da robótica que permitem ao usuário executar movimentos com elevado grau de autonomia. Além de estabelecer a direção para a qual pretende se locomover, ele tem total controle sobre ritmo, paradas e mudança de rumo. O exoesqueleto executa automaticamente o movimento. Para isso, é dotado de uma câmera que vê os obstáculos e utiliza técnicas de inteligência artificial, otimização e planejamento de movimentos para adaptar o passo da pessoa para a forma mais adequada a superar obstáculos na sua frente e alcançar o objetivo. [...]

Protótipo de exoesqueleto desenvolvido pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) para a recuperação do movimento dos membros inferiores.

Fonte: ZAPAROLLI, D. Robôs que ajudam a andar. **Agência Fapesp**, São Paulo, mar. 2021. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/robos-que-ajudam-a-andar/. Acesso em: 21 out. 2024.

Desde 2021, equipes de diferentes universidades brasileiras trabalham no desenvolvimento de exoesqueletos que, no futuro, poderão ser usados para auxiliar na movimentação de pacientes paraplégicos ou em processo de reabilitação, dando-lhes maior independência na realização das atividades diárias e proporcionando melhor qualidade de vida para essas pessoas.

O desenvolvimento de tecnologias como essa é possível graças aos conhecimentos em Robótica, ciência que estuda a criação, a construção e a implementação de robôs por meio da aplicação de conceitos de diferentes áreas, como Ciência da Computação, Matemática e Física. Exoesqueletos como o protótipo apresentado utilizam circuitos elétricos, motores elétricos, sensores de campo magnético e aplicam princípios de indução eletromagnética para reproduzir movimentos do corpo humano.

Cada vez mais presente em nosso dia a dia, a Robótica é aplicada na produção industrial, otimizando a produção nas fábricas, em tarefas do cotidiano, como no auxílio de trabalhos domésticos, e na Medicina, não só no desenvolvimento de novos equipamentos, mas também na realização de teleconsultas e em intervenções cirúrgicas.

As carreiras na área de Engenharia, seja ela mecânica, eletrônica, elétrica, mecatrônica, de computação, industrial ou de telecomunicações, são as que se relacionam com o desenvolvimento de robôs e na programação de sistemas inteligentes. Um dado que chama a atenção é o pequeno número de jovens que escolhem carreiras nessa área, juntamente com as áreas de Ciência, Tecnologia

Continua

411

Continuação

e Matemática. As carreiras STEM (do inglês, *Science, Technology, Engineering and Mathematics*; em português, Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) contam, ainda, com a sub-representação das mulheres, que são apenas 37,3% dos profissionais formados em Engenharia.

As carreiras STEM são fundamentais para o desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, com impacto significativo na sociedade. Um grande passo para estimular mais jovens a escolherem essa área, formando uma nova geração de profissionais nas carreiras STEM, é promover o ensino de Robótica nas escolas.

Na Robótica educacional os estudantes desenvolvem atividades de montagem de robôs e sistemas automatizados para realizar tarefas simples. Para isso, normalmente, seguem algumas etapas, que envolvem a resolução de um problema, a definição e a construção de um projeto e a apresentação da solução encontrada. Desse modo, o ensino de Robótica tem despertado o interesse dos jovens em Ciências e Matemática, melhorando o desempenho escolar e estimulando aptidões para as carreiras STEM.

Estudantes em um torneio de robótica em Montevidéu, Uruguai (2019). Torneios de robótica são cada vez mais comuns, inclusive no Brasil, e contribuem para despertar nos estudantes o interesse pelas carreiras STEM.

1. Em grupo com dois colegas, com base na tecnologia descrita no texto, discutam a importância para a sociedade do desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico.
2. Leia o texto a seguir.

   [...] essa "escolha" [de meninas e mulheres não seguirem seus estudos ou carreiras em STEM] é um resultado do processo de socialização e de estereótipos que são explícita e implicitamente transmitidos às meninas desde muito cedo. Com frequência, as meninas são criadas acreditando que STEM consistem em assuntos "masculinos", e que a habilidade feminina nesse campo é intrinsecamente inferior à masculina. Isso pode diminuir a confiança das meninas, bem como o seu interesse e a sua vontade de se envolver com disciplinas de STEM.

   Fonte: Decifrar o código: educação de meninas e mulheres em ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). **Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco)**. Brasília: Unesco Brasil, 2018. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000264691. Acesso em: 25 set. 2024.

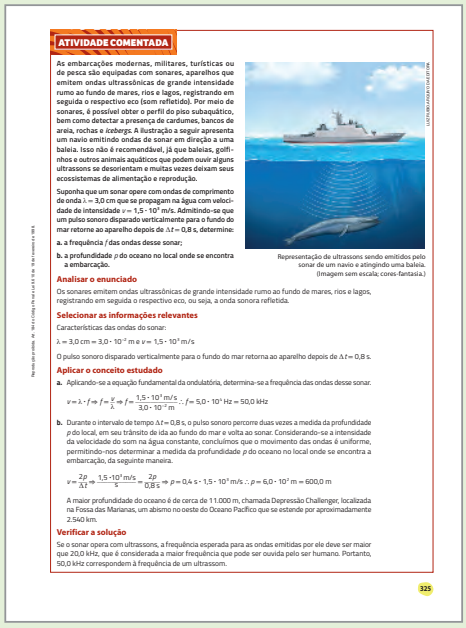
   Cite intervenções nos âmbitos individual, familiar, escolar e social que você considera que poderiam ser feitas para ajudar a aumentar a participação de meninas nas áreas STEM.
3. Você conhece projetos que incentivam a participação de meninas na Robótica? Se não conhece, pesquise um projeto com esse objetivo.
4. Diante das demandas do mundo atual para o mercado de trabalho e para a sociedade, você considera importante o ensino de robótica nas escolas? Explique.

412

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividade comentada

Atividades diversificadas (autorais ou de vestibulares, objetivas ou discursivas) com a resolução apresentada passo a passo. Consiste em uma estratégia de estudo para ajudá-lo na resolução de atividades similares.



ATIVIDADE COMENTADA

As embarcações modernas, militares, turísticas ou de pesca são equipadas com sonares, aparelhos que emitem ondas ultrassônicas de grande intensidade rumo ao fundo de mares, rios e lagos, registrando em seguida o respectivo eco (som refletido). Por meio de sonares, é possível obter o perfil do piso subaquático, bem como detectar a presença de cardumes, bancos de areia, rochas e icebergs. A ilustração a seguir apresenta um navio emitindo ondas de sonar em direção a uma baleia. Isso não é recomendável, já que baleias, golfinhos e outros animais aquáticos que podem ouvir alguns ultrassons se desorientam e muitas vezes deixam seus ecossistemas de alimentação e reprodução.

Suponha que um sonar opere com ondas de comprimento de onda $\lambda = 3{,}0$ cm que se propagam na água com velocidade de intensidade $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s. Admitindo-se que um pulso sonoro disparado verticalmente para o fundo do mar retorne ao aparelho depois de $\Delta t = 0{,}8$ s, determine:

a. a frequência f das ondas desse sonar;

b. a profundidade p do oceano no local onde se encontra a embarcação.

Representação de ultrassons sendo emitidos pelo sonar de um navio e atingindo uma baleia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Analisar o enunciado

Os sonares emitem ondas ultrassônicas de grande intensidade rumo ao fundo de mares, rios e lagos, registrando em seguida o respectivo eco, ou seja, a onda sonora refletida.

Selecionar as informações relevantes

Características das ondas do sonar:

$\lambda = 3{,}0 \text{ cm} = 3{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ e $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s

O pulso sonoro disparado verticalmente para o fundo do mar retorna ao aparelho depois de $\Delta t = 0{,}8$ s.

Aplicar o conceito estudado

a. Aplicando-se a equação fundamental da ondulatória, determina-se a frequência das ondas desse sonar.

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s}}{3{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}} \therefore f = 5{,}0 \cdot 10^4 \text{ Hz} = 50{,}0 \text{ kHz}$$

b. Durante o intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}8$ s, o pulso sonoro percorre duas vezes a medida da profundidade p do local, em seu trânsito de ida ao fundo do mar e volta ao sonar. Considerando-se a intensidade da velocidade do som na água constante, concluímos que o movimento das ondas é uniforme, permitindo-nos determinar a medida da profundidade p do oceano no local onde se encontra a embarcação, da seguinte maneira.

$$v = \frac{2p}{\Delta t} \Rightarrow \frac{1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s}}{s} = \frac{2p}{0{,}8 \text{ s}} \Rightarrow p = 0{,}4 \text{ s} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s} \therefore p = 6{,}0 \cdot 10^2 \text{ m} = 600{,}0 \text{ m}$$

A maior profundidade do oceano é de cerca de 11.000 m, chamada Depressão Challenger, localizada na Fossa das Marianas, um abismo no oeste do Oceano Pacífico que se estende por aproximadamente 2.540 km.

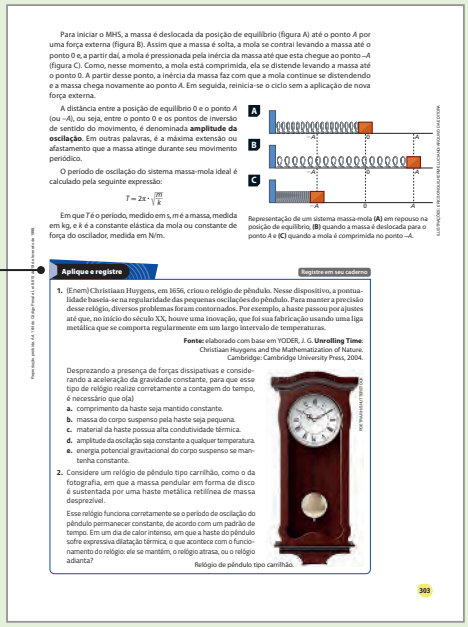
Verificar a solução

Se o sonar opera com ultrassons, a frequência esperada para as ondas emitidas por ele deve ser maior que 20,0 kHz, que é considerada a maior frequência que pode ser ouvida pelo ser humano. Portanto, 50,0 kHz correspondem à frequência de um ultrassom.

325

Aplique e registre

Boxe com atividades para você praticar e verificar a sua compreensão do conteúdo estudado ao longo do capítulo.



Para iniciar o MHS, a massa é deslocada da posição de equilíbrio (figura A) até o ponto *A* por uma força externa (figura B). Assim que a massa é solta, a mola se contrai levando a massa até o ponto 0 e, a partir daí, a mola é pressionada pela inércia da massa até que esta chegue ao ponto –*A* (figura C). Como, nesse momento, a mola está comprimida, ela se distende levando a massa até o ponto 0. A partir desse ponto, a inércia da massa faz com que a mola continue se distendendo e a massa chega novamente ao ponto *A*. Em seguida, reinicia-se o ciclo sem a aplicação de nova força externa.

A distância entre a posição de equilíbrio 0 e o ponto *A* (ou –*A*), ou seja, entre o ponto 0 e os pontos de inversão de sentido do movimento, é denominada **amplitude da oscilação**. Em outras palavras, é a máxima extensão ou afastamento que a massa atinge durante seu movimento periódico.

O período de oscilação do sistema massa-mola ideal é calculado pela seguinte expressão:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Em que *T* é o período, medido em s, *m* é a massa, medida em kg, e *k* é a constante elástica da mola ou constante de força do oscilador, medida em N/m.

Representação de um sistema massa-mola (**A**) em repouso na posição de equilíbrio, (**B**) quando a massa é deslocada para o ponto *A* e (**C**) quando a mola é comprimida no ponto –*A*.

Aplique e registre — Registre em seu caderno

1. (Enem) Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que, no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas.

Fonte: elaborado com base em YODER, J. G. **Unrolling Time:** Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o(a)

a. comprimento da haste seja mantido constante.
b. massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
c. material da haste possua alta condutividade térmica.
d. amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
e. energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

2. Considere um relógio de pêndulo tipo carrilhão, como o da fotografia, em que a massa pendular em forma de disco é sustentada por uma haste metálica retilínea de massa desprezível.

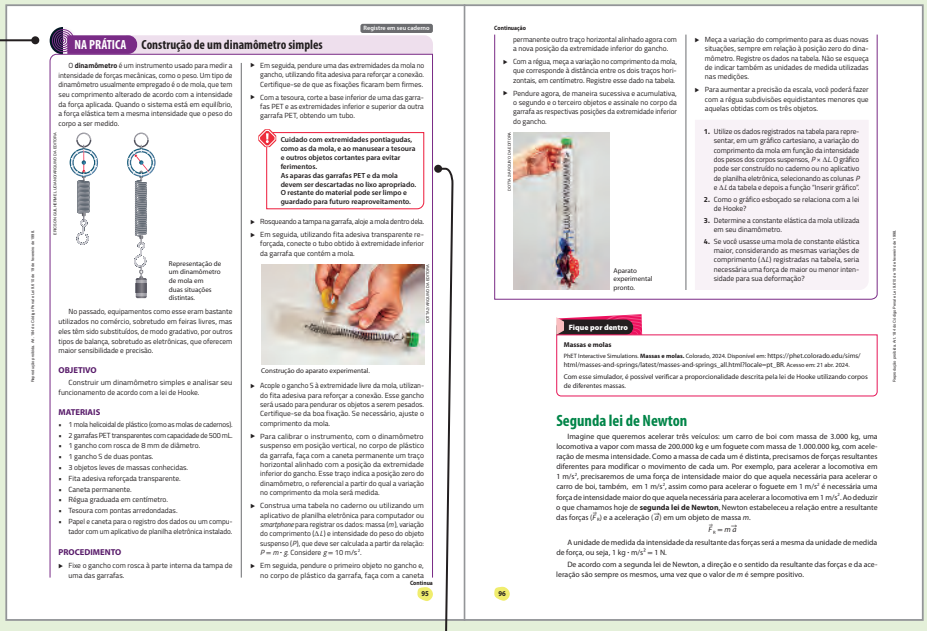
Esse relógio funciona corretamente se o período de oscilação do pêndulo permanecer constante, de acordo com um padrão de tempo. Em um dia de calor intenso, em que a haste do pêndulo sofre expressiva dilatação térmica, o que acontece com o funcionamento do relógio: ele se mantém, o relógio atrasa, ou o relógio adianta?

Relógio de pêndulo tipo carrilhão.

303

Na prática

A seção propõe uma atividade prática articulada com algum tema abordado no capítulo, para que você tenha contato com procedimentos próprios do fazer científico.



Registre em seu caderno

NA PRÁTICA — Construção de um dinamômetro simples

O **dinamômetro** é um instrumento usado para medir a intensidade de forças mecânicas, como o peso. Um tipo de dinamômetro usualmente empregado é o de mola, que tem seu comprimento alterado de acordo com a intensidade da força aplicada. Quando o sistema está em equilíbrio, a força elástica tem a mesma intensidade que o peso do corpo a ser medido.

Representação de um dinamômetro de mola em duas situações distintas.

No passado, equipamentos como esse eram bastante utilizados no comércio, sobretudo em feiras livres, mas eles têm sido substituídos, de modo gradativo, por outros tipos de balança, sobretudo as eletrônicas, que oferecem maior sensibilidade e precisão.

OBJETIVO

Construir um dinamômetro simples e analisar seu funcionamento de acordo com a lei de Hooke.

MATERIAIS

- 1 mola helicoidal de plástico (como as molas de cadernos).
- 2 garrafas PET transparentes com capacidade de 500 mL.
- 1 gancho com rosca de 8 mm de diâmetro.
- 1 gancho S de duas pontas.
- 3 objetos leves de massas conhecidas.
- Fita adesiva reforçada transparente.
- Caneta permanente.
- Régua graduada em centímetro.
- Tesoura com pontas arredondadas.
- Papel e caneta para o registro dos dados ou um computador com um aplicativo de planilha eletrônica instalado.

PROCEDIMENTO

- Fixe o gancho com rosca à parte interna da tampa de uma das garrafas.
- Em seguida, pendure uma das extremidades da mola no gancho, utilizando fita adesiva para reforçar a conexão. Certifique-se de que as fixações ficaram bem firmes.
- Com a tesoura, corte a base inferior de uma das garrafas PET e as extremidades inferior e superior da outra garrafa PET, obtendo um tubo.

Cuidado com extremidades pontiagudas, como as da mola, e ao manusear a tesoura e outros objetos cortantes para evitar ferimentos.
As aparas das garrafas PET e da mola devem ser descartadas no lixo apropriado. O restante do material pode ser limpo e guardado para futuro reaproveitamento.

- Rosqueando a tampa na garrafa, aloje a mola dentro dela.
- Em seguida, utilizando fita adesiva transparente reforçada, conecte o tubo obtido à extremidade inferior da garrafa que contém a mola.

Construção do aparato experimental.

- Acople o gancho S à extremidade livre da mola, utilizando fita adesiva para reforçar a conexão. Esse gancho será usado para pendurar os objetos a serem pesados. Certifique-se da boa fixação. Se necessário, ajuste o comprimento da mola.
- Para calibrar o instrumento, com o dinamômetro suspenso em posição vertical, no corpo de plástico da garrafa, faça com a caneta permanente um traço horizontal alinhado com a posição da extremidade inferior do gancho. Esse traço indica a posição zero do dinamômetro, o referencial a partir do qual a variação no comprimento da mola será medida.
- Construa uma tabela no caderno ou utilizando um aplicativo de planilha eletrônica para computador ou *smartphone* para registrar os dados: massa (m), variação do comprimento (ΔL) e intensidade do peso do objeto suspenso (P), que deve ser calculada a partir da relação: $P = m \cdot g$. Considere $g = 10$ m/s².
- Em seguida, pendure o primeiro objeto no gancho e, no corpo de plástico da garrafa, faça com a caneta

Continua

95

Continuação

permanente outro traço horizontal alinhado agora com a nova posição da extremidade inferior do gancho.

- Com a régua, meça a variação no comprimento da mola, que corresponde à distância entre os dois traços horizontais, em centímetro. Registre esse dado na tabela.
- Pendure agora, de maneira sucessiva e acumulativa, o segundo e o terceiro objetos e assinale no corpo da garrafa as respectivas posições da extremidade inferior do gancho.

Aparato experimental pronto.

- Meça a variação do comprimento para as duas novas situações, sempre em relação à posição zero do dinamômetro. Registre os dados na tabela. Não se esqueça de indicar também as unidades de medida utilizadas nas medições.
- Para aumentar a precisão da escala, você poderá fazer com a régua subdivisões equidistantes menores que aquelas obtidas com os três objetos.

1. Utilize os dados registrados na tabela para representar, em um gráfico cartesiano, a variação do comprimento da mola em função da intensidade dos pesos dos corpos suspensos, $P \times \Delta L$. O gráfico pode ser construído no caderno ou no aplicativo de planilha eletrônica, selecionando as colunas P e ΔL da tabela e depois a função "Inserir gráfico".
2. Como o gráfico esboçado se relaciona com a lei de Hooke?
3. Determine a constante elástica da mola utilizada em seu dinamômetro.
4. Se você usasse uma mola de constante elástica maior, considerando as mesmas variações de comprimento (ΔL) registradas na tabela, seria necessária uma força de maior ou menor intensidade para sua deformação?

Fique por dentro

Massas e molas

PhET Interactive Simulations. **Massas e molas**. Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 21 abr. 2024.

Com esse simulador, é possível verificar a proporcionalidade descrita pela lei de Hooke utilizando corpos de diferentes massas.

Segunda lei de Newton

Imagine que queremos acelerar três veículos: um carro de boi com massa de 3.000 kg, uma locomotiva a vapor com massa de 200.000 kg e um foguete com massa de 1.000.000 kg, com aceleração de mesma intensidade. Como a massa de cada um é distinta, precisamos de forças resultantes diferentes para modificar o movimento de cada um. Por exemplo, para acelerar a locomotiva em 1 m/s², precisaremos de uma força de intensidade maior do que aquela necessária para acelerar o carro de boi, também, em 1 m/s², assim como para acelerar o foguete em 1 m/s² é necessária uma força de intensidade maior do que aquela necessária para acelerar a locomotiva em 1 m/s². Ao deduzir o que chamamos hoje de **segunda lei de Newton**, Newton estabeleceu a relação entre a resultante das forças ($\vec{F}_R$) e a aceleração ($\vec{a}$) em um objeto de massa *m*.

$$\vec{F}_R = m\,\vec{a}$$

A unidade de medida da intensidade da resultante das forças será a mesma da unidade de medida de força, ou seja, 1 kg · m/s² = 1 N.

De acordo com a segunda lei de Newton, a direção e o sentido da resultante das forças e da aceleração são sempre os mesmos, uma vez que o valor de *m* é sempre positivo.

96

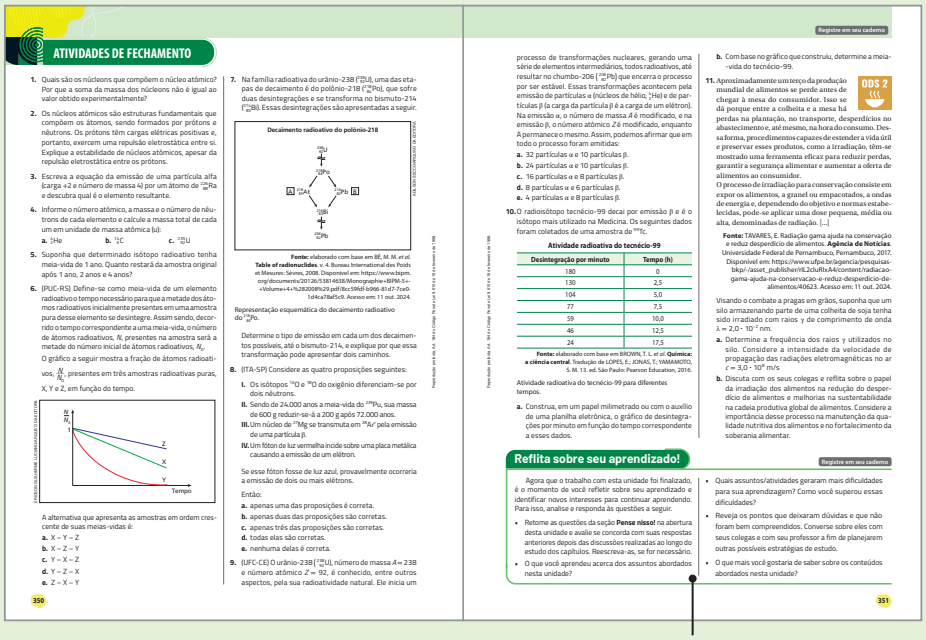
Atenção!

Boxe indicando os cuidados que você deve ter em determinadas situações, destacando pontualmente itens essenciais de segurança.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades de fechamento

Atividades diversificadas para você aplicar e relacionar conceitos importantes do capítulo.



ATIVIDADES DE FECHAMENTO

1. Quais são os núcleons que compõem o núcleo atômico? Por que a soma da massa dos núcleons não é igual ao valor obtido experimentalmente?
2. Os núcleos atômicos são estruturas fundamentais que compõem os átomos, sendo formados por prótons e nêutrons. Os prótons têm cargas elétricas positivas e, portanto, exercem uma repulsão eletrostática entre si. Explique a estabilidade de núcleos atômicos, apesar da repulsão eletrostática entre os prótons.
3. Escreva a equação da emissão de uma partícula alfa (carga +2 e número de massa 4) por um átomo de $^{226}_{88}Ra$ e descubra qual é o elemento resultante.
4. Informe o número atômico, a massa e o número de nêutrons de cada elemento e calcule a massa total de cada um em unidade de massa atômica (u):
   a. $^{3}_{1}He$ b. $^{13}_{6}C$ c. $^{235}_{92}U$
5. Suponha que determinado isótopo radioativo tenha meia-vida de 1 ano. Quanto restará da amostra original após 1 ano, 2 anos e 4 anos?
6. (PUC-RS) Defina-se como meia-vida de um elemento radioativo o tempo necessário para que a metade dos átomos radioativos inicialmente presentes em uma amostra pura desse elemento se desintegre. Assim sendo, decorrido o tempo correspondente a uma meia-vida, o número de átomos radioativos, N, presentes na amostra será a metade do número inicial de átomos radioativos, N_0.
   O gráfico a seguir mostra a fração de átomos radioativos, $\frac{N}{N_0}$, presentes em três amostras radioativas puras, X, Y e Z, em função do tempo.

   A alternativa que apresenta as amostras em ordem crescente de suas meias-vidas é:
   a. X – Y – Z
   b. X – Z – Y
   c. Y – X – Z
   d. Y – Z – X
   e. Z – X – Y
7. Na família radioativa do urânio-238 ($^{238}_{92}U$), uma das etapas de decaimento é do polônio-218 ($^{218}_{84}Po$), que sofre duas desintegrações e se transforma no bismuto-214 ($^{214}_{83}Bi$). Essas desintegrações são apresentadas a seguir.

   Fonte: elaborado com base em BE, M. M. *et al.* **Table of radionuclides**. v. 4. Bureau International des Poids et Mesures: Sèvres, 2008. Disponível em: https://www.bipm.org/documents/20126/5181468/Monographie+BIPM-5+-+Volume+4+%282008%29.pdf/8cc596f8-b966-81d7-7ce0-144ca78af5c9. Acesso em: 11 out. 2024.

   Representação esquemática do decaimento radioativo do $^{218}_{84}Po$.

   Determine o tipo de emissão em cada um dos decaimentos possíveis, até o bismuto- 214, e explique por que essa transformação pode apresentar dois caminhos.
8. (ITA-SP) Considere as quatro proposições seguintes:
   I. Os isótopos ^{16}O e ^{18}O do oxigênio diferenciam-se por dois nêutrons.
   II. Sendo de 24.000 anos a meia-vida do ^{239}Pu, sua massa de 600 g reduzir-se-á a 200 g após 72.000 anos.
   III. Um núcleo de ^{24}Mg se transmuta em ^{24}Al pela emissão de uma partícula β.
   IV. Um fóton de luz vermelha incide sobre uma placa metálica causando a emissão de um elétron.

   Se esse fóton fosse de luz azul, provavelmente ocorreria a emissão de dois ou mais elétrons.

   Então:
   a. apenas uma das proposições é correta.
   b. apenas duas das proposições são corretas.
   c. apenas três das proposições são corretas.
   d. todas elas são corretas.
   e. nenhuma delas é correta.
9. (UFC-CE) O urânio-238 ($^{238}_{92}U$), número de massa $A = 238$ e número atômico $Z = 92$, é conhecido, entre outros aspectos, pela sua radioatividade natural. Ele inicia um processo de transformações nucleares, gerando uma série de elementos intermediários, todos radioativos, até resultar no chumbo-206 ($^{206}_{82}Pb$) que encerra o processo por ser estável. Essas transformações acontecem pela emissão de partículas α (núcleos de hélio, $^{4}_{2}He$) e de partículas β (a carga da partícula β é a carga de um elétron). Na emissão α, o número de massa A é modificado, e na emissão β, o número atômico Z é modificado, enquanto A permanece o mesmo. Assim, podemos afirmar que em todo o processo foram emitidas:
   a. 32 partículas α e 10 partículas β.
   b. 24 partículas α e 10 partículas β.
   c. 16 partículas α e 8 partículas β.
   d. 8 partículas α e 6 partículas β.
   e. 4 partículas α e 8 partículas β.
10. O radioisótopo tecnécio-99 decai por emissão β e é o isótopo mais utilizado na Medicina. Os seguintes dados foram coletados de uma amostra de ^{99}Tc:

    Atividade radioativa do tecnécio-99

Desintegração por minuto	Tempo (h)
180	0
130	2,5
104	5,0
77	7,5
59	10,0
46	12,5
24	17,5

    Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al.* **Química: a ciência central**. Tradução de LOPES, E.; JONAS, T.; YAMAMOTO, S. M. 13. ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

    Atividade radioativa do tecnécio-99 para diferentes tempos.
    a. Construa, em um papel milimetrado ou com o auxílio de uma planilha eletrônica, o gráfico de desintegrações por minuto em função do tempo correspondente a esses dados.
    b. Com base no gráfico que construiu, determine a meia-vida do tecnécio-99.
11. Aproximadamente um terço da produção mundial de alimentos se perde antes de chegar à mesa do consumidor. Isso se dá porque entre a colheita e a mesa há perdas na plantação, no transporte, desperdícios no abastecimento e, até mesmo, na hora do consumo. Dessa forma, procedimentos capazes de estender a vida útil e preservar esses produtos, como a irradiação, têm-se mostrado uma ferramenta eficaz para reduzir perdas, garantir a segurança alimentar e aumentar a oferta de alimentos ao consumidor.
    O processo de irradiação para conservação consiste em expor os alimentos, a granel ou empacotados, a ondas de energia e, dependendo do objetivo e normas estabelecidas, pode-se aplicar uma dose pequena, média ou alta, denominadas de radiação. [...]

    Fonte: TAVARES, E. Radiação gama ajuda na conservação e reduz desperdício de alimentos. **Agência de Notícias**. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2017. Disponível em: https://www.ufpe.br/agencia/pesquisas-blog/-/asset_publisher/rIL2cfuRIcA4/content/radiacao-gama-ajuda-na-conservacao-e-reduz-desperdicio-de-alimentos/40623. Acesso em: 11 out. 2024.

    Visando o combate a pragas em grãos, suponha que um silo armazenando parte de uma colheita de soja tenha sido irradiado com raios γ de comprimento de onda $\lambda = 2{,}0 \cdot 10^{-7}$ nm.
    a. Determine a frequência dos raios γ utilizados no silo. Considere a intensidade da velocidade de propagação das radiações eletromagnéticas no ar $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s.
    b. Discuta com os seus colegas e reflita sobre o papel da irradiação dos alimentos na redução do desperdício de alimentos e melhorias na sustentabilidade na cadeia produtiva global de alimentos. Considere a importância desse processo na manutenção da qualidade nutritiva dos alimentos e no fortalecimento da soberania alimentar.

Registre em seu caderno

Reflita sobre seu aprendizado!

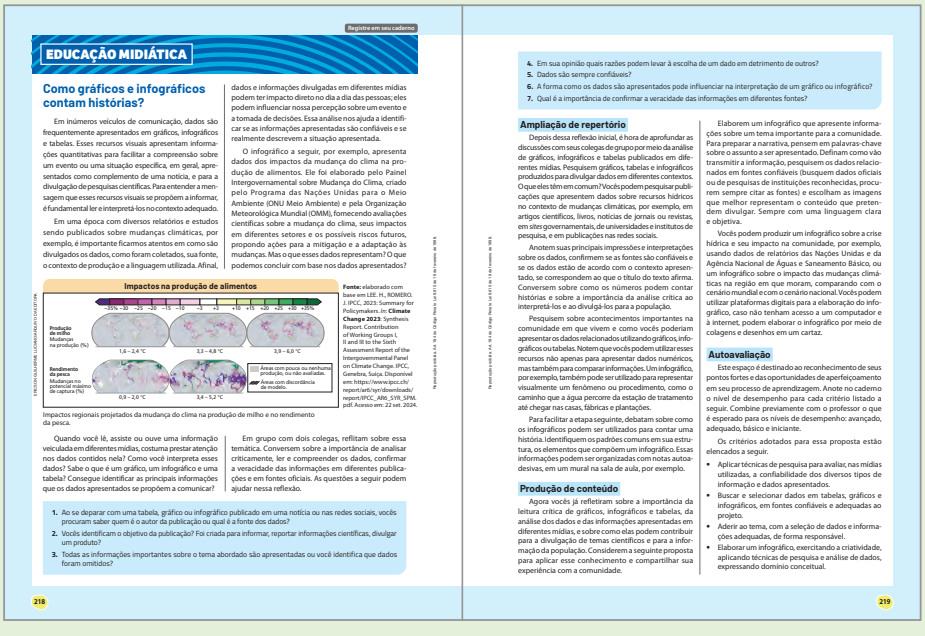
Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

350 351

Reflita sobre seu aprendizado!

Boxe de autoavaliação, que aparece ao final de cada unidade, propondo a retomada das perguntas do **Pense nisso!** e oferecendo a você a oportunidade de refletir sobre os conhecimentos construídos durante o estudo da unidade.



EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Como gráficos e infográficos contam histórias?

Em inúmeros veículos de comunicação, dados são frequentemente apresentados em gráficos, infográficos e tabelas. Esses recursos visuais apresentam informações quantitativas para facilitar a compreensão sobre um evento ou uma situação específica, em geral, apresentados como complemento de uma notícia, e para a divulgação de pesquisas científicas. Para entender a mensagem que esses recursos visuais se propõem a informar, é fundamental ler e interpretá-los no contexto adequado.

Em uma época com diversos relatórios e estudos sendo publicados sobre mudanças climáticas, por exemplo, é importante ficarmos atentos em como são divulgados os dados, como foram coletados, sua fonte, o contexto de produção e a linguagem utilizada. Afinal, dados e informações divulgadas em diferentes mídias podem ter impacto direto no dia a dia das pessoas; eles podem influenciar nossa percepção sobre um evento e a tomada de decisões. Essa análise nos ajuda a identificar se as informações apresentadas são confiáveis e se realmente descrevem a situação apresentada.

O infográfico a seguir, por exemplo, apresenta dados dos impactos da mudança do clima na produção de alimentos. Ele foi elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), fomecendo avaliações científicas sobre a mudança do clima, seus impactos em diferentes setores e os possíveis riscos futuros, propondo ações para a mitigação e a adaptação às mudanças. Mas o que esses dados representam? O que podemos concluir com base nos dados apresentados?

Impactos na produção de alimentos

Fonte: elaborado com base em LEE. H.; ROMERO-J. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genebra, Suíça. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

Impactos regionais projetados da mudança do clima na produção de milho e no rendimento da pesca.

Quando você lê, assiste ou ouve uma informação veiculada em diferentes mídias, costuma prestar atenção nos dados contidos nela? Como você interpreta esses dados? Sabe o que é um gráfico, um infográfico e uma tabela? Consegue identificar as principais informações que os dados apresentados se propõem a comunicar?

Em grupo com dois colegas, reflitam sobre essa temática. Conversem sobre a importância de analisar criticamente, ler e compreender os dados, confirmar a veracidade das informações em diferentes publicações e em fontes oficiais. As questões a seguir podem ajudar nessa reflexão.

1. Ao se deparar com uma tabela, gráfico ou infográfico publicado em uma notícia ou nas redes sociais, vocês procuram saber quem é o autor da publicação ou qual é a fonte dos dados?
2. Vocês identificam o objetivo da publicação? Foi criada para informar, reportar informações científicas, divulgar um produto?
3. Todas as informações importantes sobre o tema abordado são apresentadas ou você identifica que dados foram omitidos?
4. Em sua opinião quais razões podem levar à escolha de um dado em detrimento de outros?
5. Dados são sempre confiáveis?
6. A forma como os dados são apresentados pode influenciar na interpretação de um gráfico ou infográfico?
7. Qual é a importância de confirmar a veracidade das informações em diferentes fontes?

Ampliação de repertório

Depois dessa reflexão inicial, é hora de aprofundar as discussões com seus colegas de grupo por meio da análise de gráficos, infográficos e tabelas publicados em diferentes mídias. Pesquisem gráficos, tabelas e infográficos produzidos para divulgar dados em diferentes contextos. O que eles têm em comum? Vocês podem pesquisar publicações que apresentem dados sobre recursos hídricos no contexto de mudanças climáticas, por exemplo, em artigos científicos, livros, notícias de jornais ou revistas, em sites governamentais, de universidades e institutos de pesquisa, e em publicações nas redes sociais.

Anotem suas principais impressões e interpretações sobre os dados, confirmem se as fontes são confiáveis e se os dados estão de acordo com o contexto apresentado, se correspondem ao que o título do texto afirma. Conversem sobre como os números podem contar histórias e sobre a importância da análise crítica ao interpretá-los e ao divulgá-los para a população.

Pesquisem sobre acontecimentos importantes na comunidade em que vivem e como vocês poderiam apresentar os dados relacionados utilizando gráficos, infográficos ou tabelas. Notem que vocês podem utilizar esses recursos não apenas para apresentar dados numéricos, mas também para comparar informações. Um infográfico, por exemplo, também pode ser utilizado para representar visualmente um fenômeno ou procedimento, como o caminho que a água percorre da estação de tratamento até chegar nas casas, fábricas e plantações.

Para facilitar a etapa seguinte, debatam sobre como os infográficos podem ser utilizados para contar uma história. Identifiquem os padrões comuns em sua estrutura, os elementos que compõem um infográfico. Essas informações podem ser organizadas com notas autoadesivas, em um mural na sala de aula, por exemplo.

Produção de conteúdo

Agora vocês já refletiram sobre a importância da leitura crítica de gráficos, infográficos e tabelas, da análise dos dados e das informações apresentadas em diferentes mídias, e sobre como elas podem contribuir para a divulgação de temas científicos e para a informação da população. Considerem a seguinte proposta para aplicar esse conhecimento e compartilhar sua experiência com a comunidade.

Elaborem um infográfico que apresente informações sobre um tema importante para a comunidade. Para preparar a narrativa, pensem em palavras-chave sobre o assunto a ser apresentado. Definam como vão transmitir a informação, pesquisem os dados relacionados em fontes confiáveis (busquem dados oficiais ou de pesquisas de instituições reconhecidas, procurem sempre citar as fontes) e escolham as imagens que melhor representam o conteúdo que pretendem divulgar. Sempre com uma linguagem clara e objetiva.

Vocês podem produzir um infográfico sobre a crise hídrica e seu impacto na comunidade, por exemplo, usando dados de relatórios das Nações Unidas e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ou um infográfico sobre o impacto das mudanças climáticas na região em que moram, comparando com o cenário mundial e com o cenário nacional. Vocês podem utilizar plataformas digitais para a elaboração do infográfico, caso não tenham acesso a um computador e à internet, podem elaborar o infográfico por meio de colagens e desenhos em um cartaz.

Autoavaliação

Este espaço é destinado ao reconhecimento de seus pontos fortes e das oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

- Aplicar técnicas de pesquisa para avaliar, nas mídias utilizadas, a confiabilidade dos diversos tipos de informação e dados apresentados.
- Buscar e selecionar dados em tabelas, gráficos e infográficos, em fontes confiáveis e adequadas ao projeto.
- Aderir ao tema, com a seleção de dados e informações adequadas, de forma responsável.
- Elaborar um infográfico, exercitando a criatividade, aplicando técnicas de pesquisa e análise de dados, expressando domínio conceitual.

218 219

Educação midiática

A seção final da unidade traz propostas que desenvolvem a alfabetização midiática e informacional.

Cuide bem deste livro para que outros colegas possam estudar com ele. Lembre-se de fazer anotações e escrever as respostas no caderno.

Símbolos usados nesta coleção

Registre em seu caderno

Este selo indica que você não deve fazer anotações neste livro, pois ele será usado por outro estudante depois de você.

OBJETO DIGITAL

Indica recurso disponível no livro digital.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Você sabia que em 2015 foi assinado, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU), em Nova York, nos Estados Unidos, um documento em que 193 países, incluindo o Brasil, se comprometeram a tomar medidas importantes para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir que as pessoas possam desfrutar de paz e de prosperidade? Trata-se da **Agenda 2030**. Nela, são apresentados **17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, os ODS, que determinam metas transformadoras para promover o desenvolvimento sustentável até 2030. Vamos conhecê-los?

Para que a Agenda 2030 seja cumprida no Brasil e no mundo, é necessário promover engajamento e parcerias entre governos, setor privado e sociedade civil. Além disso, o acompanhamento e a avaliação da implementação devem ocorrer em níveis global, nacional e regional.

RELEITURA DOS ÍCONES DA ONU POR VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A seguir, apresentamos cada objetivo da Agenda 2030. No decorrer deste livro, você vai encontrar indicações de ODS sempre que houver propostas, temas ou conceitos relacionados a eles.

ODS 1	**ERRADICAÇÃO DA POBREZA**	Acabar com a pobreza em todas as formas e em todos os lugares.
ODS 2	**FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**	Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.
ODS 3	**SAÚDE E BEM-ESTAR**	Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
ODS 4	**EDUCAÇÃO DE QUALIDADE**	Garantir o acesso à educação inclusiva, de qualidade e equitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
ODS 5	**IGUALDADE DE GÊNERO**	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
ODS 6	**ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO**	Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.
ODS 7	**ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL**	Garantir o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos.
ODS 8	**TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO**	Promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, com emprego pleno e produtivo e trabalho digno para todos.
ODS 9	**INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA**	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
ODS 10	**REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES**	Reduzir as desigualdades no interior dos países e entre países.
ODS 11	**CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS**	Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
ODS 12	**CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS**	Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis.
ODS 13	**AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA**	Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.
ODS 14	**VIDA NA ÁGUA**	Conservar e usar de forma responsável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
ODS 15	**VIDA TERRESTRE**	Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, reverter a degradação dos solos e preservar a biodiversidade.
ODS 16	**PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES**	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
ODS 17	**PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO**	Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 22 set. 2024.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

VINICIUS ROSSIGNOL FELIPE

SUMÁRIO

UNIDADE 1 UNIVERSO, TERRA E VIDA 14

Pense nisso! 14

CAPÍTULO 1 O início de tudo 15

Como tudo começou? A teoria do Big Bang 15

Modelo cosmológico padrão: matéria escura e energia escura 17

Lei de Hubble-Lemaître e a expansão do Universo 18

Em foco A Ciência é uma construção humana, mas todos os humanos constroem a Ciência? 20

Cosmologia: visão clássica de Newton e visão relativística de Einstein 21

Relatividade restrita 22

Noções de relatividade geral: o espaço-tempo e a teoria de gravitação de Einstein 25

Atividade comentada 26

Atividades de fechamento 27

CAPÍTULO 2 Estrelas e o Sistema Solar 29

Nascimento e fonte de energia das estrelas 29

Evolução e morte das estrelas 30

Sistema Solar 33

Em foco Diferentes olhares para o Cosmo 34

Na prática Viagem espacial com o Scratch 40

Atividade comentada 42

Trabalho e juventudes Empreendedorismo ao alcance de todos 44

Atividades de fechamento 46

CAPÍTULO 3 Estudo escalar do movimento 48

Referencial e movimento relativo 49

Corpo extenso e ponto material 49

Trajetória 49

Deslocamento, velocidade e aceleração escalares 50

Em foco Por que a padronização das unidades de medida é importante? 52

Movimento uniforme (MU) 54

Atividade comentada 56

Na prática Análise de um movimento uniforme 57

Movimento uniformemente variado (MUV) 58

Queda livre 61

Orientação da trajetória no movimento vertical 61

Lançamento vertical 62

Atividades de fechamento 64

CAPÍTULO 4 Estudo vetorial do movimento 66

Grandezas escalares e grandezas vetoriais 67

Vetor 67

Deslocamento, velocidade e aceleração vetoriais 69

Movimentos compostos 71

Atividade comentada 74

Movimentos periódicos 76

Movimento circular e uniforme 77

Atividades de fechamento 80

Reflita sobre seu aprendizado! 82

Educação midiática *Fake news*: devo me preocupar com isso? 83

UNIDADE 2 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE 85

Pense nisso! 85

CAPÍTULO 5 Leis de Newton e movimentos curvilíneos 86

Introdução ao conceito de força 86

Movimento inercial 87

Primeira lei de Newton 87

Forças 88

Em foco Astrodinâmica e viagem a Marte 90

Na prática Construção de um dinamômetro simples 95

Segunda lei de Newton 96

Terceira lei de Newton 97

Movimentos curvilíneos 99

Atividades de fechamento 101

CAPÍTULO 6 Trabalho e potência 103

Trabalho 103

Potência 110

Atividade comentada 111

Em foco Rios voadores da Amazônia 112

Atividades de fechamento 114

CAPÍTULO 7 Energia e sua conservação 115

Princípio da conservação da energia 115

Energia cinética e o teorema trabalho-energia cinética 117

Energia potencial 119

Energia mecânica 120

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Energia térmica e calor ... 123
Energia química ... 124
Em foco Consumo e descarte consciente ... 125
Atividades de fechamento ... 127

CAPÍTULO 8 Quantidade de movimento e sua conservação ... 129
Quantidade de movimento ... 130
Impulso de uma força ... 130
Atividade comentada ... 132
Conservação da quantidade de movimento ... 134
Em foco Avanços e recursos em segurança automotiva ... 134
Colisões elásticas e colisões inelásticas ... 135
Na prática Protegendo o passageiro ... 137
Colisões frontais e colisões oblíquas ... 138
Atividades de fechamento ... 140
Reflita sobre seu aprendizado! ... 142
Educação midiática Comunicação e divulgação de conhecimento científico ... 143

UNIDADE 3 ÁGUA E ALIMENTOS ... 145
Pense nisso! ... 145

CAPÍTULO 9 Gravitação e monitoramento por satélites ... 146
Introdução ao estudo da gravitação ... 146
Leis de Kepler ... 147
Atividade comentada ... 151
Força de atração gravitacional ... 151
Campo gravitacional ... 153
Marés ... 155
Satélites artificiais ... 156
Velocidade orbital ... 157
Imponderabilidade e alimentação no espaço ... 159
Em foco A Estação Espacial Internacional (EEI) ... 161
Atividades de fechamento ... 162

CAPÍTULO 10 Equilíbrio e máquinas simples ... 164
Equilíbrio estático ... 165
Corpo extenso, ponto material e condições de equilíbrio ... 166
Equilíbrio de um ponto material ... 166
Momento de uma força ... 167
Equilíbrio de um corpo extenso ... 169
Atividade comentada ... 171
Máquinas simples ... 172
Atividades de fechamento ... 178

CAPÍTULO 11 Estática dos fluidos ... 181
Densidade ... 181
Pressão ... 182
Em foco A Física do mergulho ... 187
Vasos comunicantes ... 188
Princípio de Pascal ... 190
Carneiro hidráulico ... 191
Empuxo e princípio de Arquimedes ... 192
Atividade comentada ... 194
Atividades de fechamento ... 195

CAPÍTULO 12 Transmissão de calor e mudanças de estado físico ... 197
Introdução ao conceito de calor ... 198
Transmissão de calor ... 198
Mudanças de estado físico ... 204
Trabalho e juventudes Juventude no campo: o futuro da agricultura familiar no Brasil ... 207
Atividade comentada ... 212
Em foco Efeito estufa e o aquecimento global ... 213
Atividades de fechamento ... 215
Reflita sobre seu aprendizado! ... 217
Educação midiática Como gráficos e infográficos contam histórias? ... 218

UNIDADE 4 TRANSFORMAÇÕES E MOVIMENTOS ... 220
Pense nisso! ... 220

CAPÍTULO 13 Dilatação térmica de sólidos e líquidos ... 221
Dilatação e contração térmicas ... 221
Atividade comentada ... 223
Na prática Estudando o funcionamento de um termostato ... 224
Comportamento anômalo da água ... 229
Atividades de fechamento ... 232

CAPÍTULO 14 Escalas termométricas e gases ideais ... 235
Temperatura ... 236
Atividade comentada ... 237
Gases e a teoria cinética ... 238
Em foco Atividades antrópicas e as transformações na atmosfera terrestre ... 239
Propriedades gerais dos gases ... 240
Gases e suas variáveis de estado ... 240

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Transformações gasosas 241
Equação de estado de um gás ideal ou equação de Clapeyron 245
Lei geral dos gases ideais 246
Atividades de fechamento 248

CAPÍTULO 15 Transformações energéticas em sistemas termodinâmicos 251
Trabalho realizado por um gás 251
Energia interna 254
Primeira lei da Termodinâmica 255
Atividade comentada 257
Em foco Vitaminas, proteínas, lipídios ou carboidratos? 258
Atividades de fechamento 259

CAPÍTULO 16 Transformações gasosas, ciclos termodinâmicos e entropia 261
Transformações gasosas 261
Ciclos termodinâmicos 267
Atividade comentada 270
Segunda lei da Termodinâmica 271
Ciclo de Carnot 272
Em foco A evolução tecnológica das máquinas térmicas 273
Entropia 274
Atividades de fechamento 276
Reflita sobre seu aprendizado! 277
Educação midiática O quão virtual é a internet? 278

UNIDADE 5 SAÚDE HUMANA 280
Pense nisso! 280

CAPÍTULO 17 Óptica geométrica e instrumentos ópticos 281
Propagação da luz 281
Princípios da Óptica geométrica 282
Reflexão em espelhos planos 283
Atividade comentada 285
Espelhos esféricos 286
Refração 289
Reflexão total 291
Em foco Fibras ópticas 292
Lentes esféricas 293
Instrumentos ópticos 296
Atividades de fechamento 298

CAPÍTULO 18 Ondas 300
Pêndulo simples 300
Atividade comentada 302
Sistema massa-mola ideal 302
Propagação de pulsos e ondas 304
Características das ondas 304
Em foco Sismos 305
Interferência de ondas 307
Ondas bidimensionais e frentes de onda 310
Princípio de Huygens 310
Polarização de ondas 314
Atividades de fechamento 316

CAPÍTULO 19 Acústica 318
Ondas sonoras 318
Velocidade do som 319
Intensidade sonora, altura e timbre 319
Audição 321
Em foco Os limites do som: a superexposição e seus impactos na saúde 322
Reflexão, refração e difração de ondas sonoras 323
Atividade comentada 325
Efeito Doppler 326
Na prática O efeito Doppler em ondas sonoras 327
Instrumentos musicais 329
Trabalho e juventudes Além dos saberes e fazeres: o impacto social e econômico da indústria criativa 334
Atividades de fechamento 335

CAPÍTULO 20 Radioatividade 337
Introdução à radioatividade 337
Força nuclear 338
Decaimento radioativo 340
Radiações ionizantes 341
Radioisótopos e meia-vida 342
Atividade comentada 344
Aplicações da radioatividade 345
Em foco Corremos algum risco ao fazermos um exame de raio X? 347
Fissão nuclear 348
Atividades de fechamento 350
Reflita sobre seu aprendizado! 351
Educação midiática Cidadania digital 352

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 6 MUNDO TECNOLÓGICO 354
Pense nisso! 354

CAPÍTULO 21 Eletrostática 355
Eletrização 356
Carga elétrica elementar 356
Condutores e isolantes 357
Processos de eletrização 357
Força entre cargas elétricas e a lei de Coulomb 360
Em foco Teorias de unificação das forças e aceleradores de partículas na pesquisa científica de ponta 362
Campo elétrico 363
Atividade comentada 366
Trabalho da força elétrica 367
Potencial eletrostático e diferença de potencial 368
Atividades de fechamento 371

CAPÍTULO 22 Eletrodinâmica 373
Corrente elétrica 373
Em foco O desenvolvimento da lâmpada elétrica 376
Circuitos elétricos 377
Resistores 378
Associação de resistores 380
Instrumentos de medida em eletricidade 384
Capacitores 385
Geradores 386
Potência elétrica 388
Atividade comentada 389
Chaves 389
Receptores elétricos 390
Circuito gerador-resistor-receptor 391
Atividades de fechamento 392

CAPÍTULO 23 Eletromagnetismo 394
Campo magnético 394
Ímãs 395
A Terra e o geomagnetismo 396
Linhas de indução e o vetor campo magnético 396
Campo magnético em um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica 397
Espiras e solenoides 399
Força magnética sobre partículas carregadas em movimento 401
Força magnética em um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica 403
Na prática Construindo um motor elétrico 405
Indução eletromagnética 406
Atividade comentada 408
Em foco Robôs e inteligência artificial na ficção científica 410
Trabalho e juventudes Robótica: carreira para os jovens, soluções para a sociedade 411
Atividades de fechamento 413

CAPÍTULO 24 Elementos de Física Quântica 415
Introdução à Física Quântica 416
A catástrofe do ultravioleta 416
Hipótese quântica de Planck 418
Efeito fotoelétrico 419
Atividade comentada 422
Dualidade onda-partícula 423
Princípio da incerteza 424
Modelos atômicos: da indivisibilidade ao átomo de Bohr 425
Em foco A nanotecnologia e suas aplicações 428
Atividades de fechamento 429
Reflita sobre seu aprendizado! 431
Educação midiática Algoritmos de inteligência artificial 432

RESPOSTAS 434

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS 438

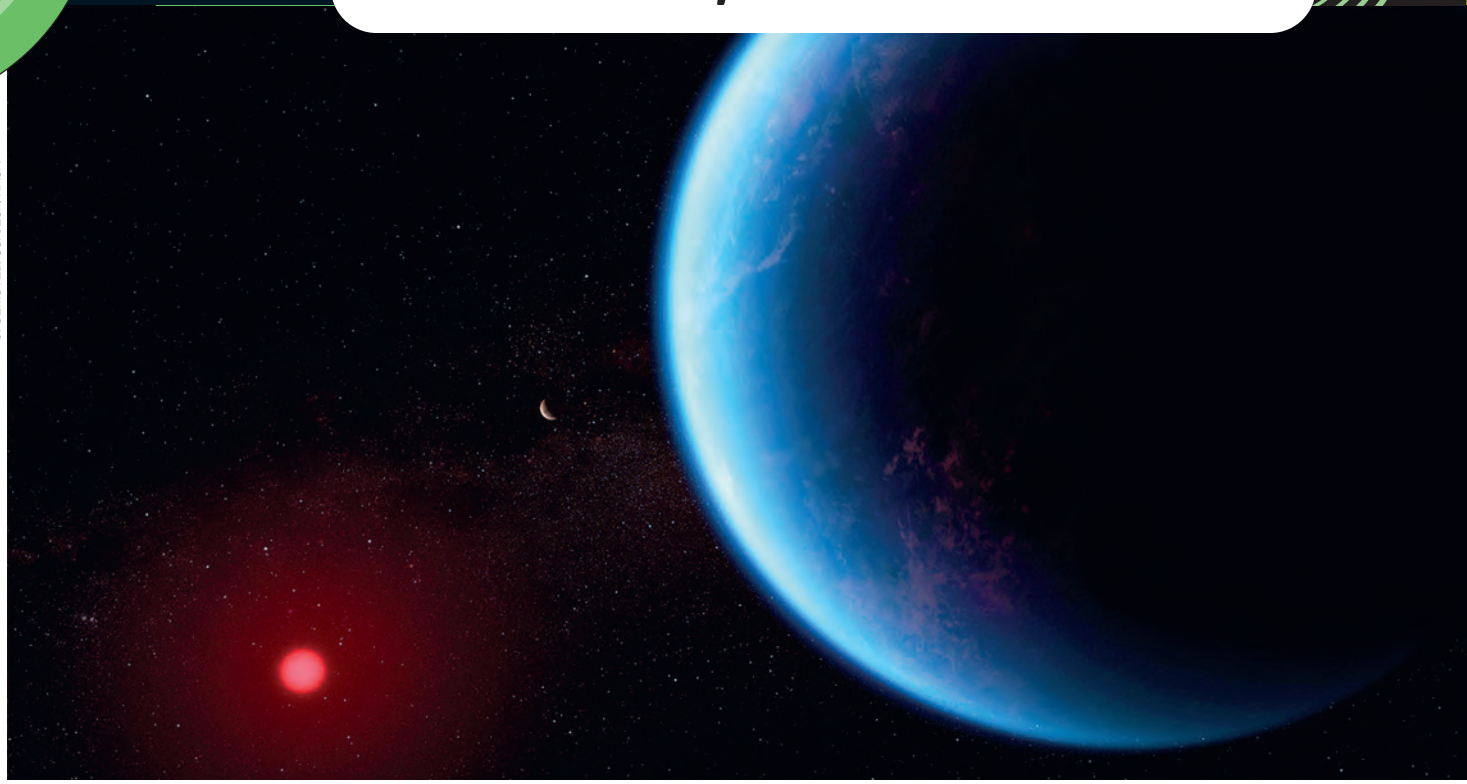
SUMÁRIO DOS OBJETOS DIGITAIS

Podcast: Preciso estudar Física? 15
Podcast: Buracos negros, segundo Carl Sagan 32
Infográfico clicável: Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras 103
Mapa clicável: O caminho dos rios voadores 112
Vídeo: Leis Ambientais 113
Mapa clicável: Usinas elétricas no Brasil 116
Vídeo: *Smartphones*: produção e consumo 125
Vídeo: Código de Trânsito Brasileiro 135
Carrossel de imagens: Máquinas simples no cotidiano 172
Carrossel de imagens: O princípio de Pascal aplicado no cotidiano 190
Podcast: Juventudes e manifestações pelo clima 220
Vídeo: Dilatação térmica 221
Carrossel de imagens: Gases em situações de emergência 240
Infográfico clicável: Pregas vocais e som 320
Podcast: Mundo das profissões: a pessoa especialista em acústica ambiental 323
Infográfico clicável: Circuitos elétricos: em série e em paralelo 384
Infográfico clicável: Eletromagnetismo no cotidiano 408

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 1

UNIVERSO, TERRA E VIDA



J. OLMSTED/CSA/ESA/NASA

Fonte: WEBB SPACE TELESCOPE. *Exoplanet K2-18 b (Illustration)*. [*S. l.*], 11 set. 2023. Disponível em: https://webbtelescope.org/contents/media/images/2023/139/01H9R88HG8YXRMARWZ5B1YDT27. Acesso em: 19 abr. 2024.

Representação artística do exoplaneta K2-18 b, a cerca de 120 anos-luz da Terra, com base em dados obtidos pelo telescópio espacial James Webb, que suportam a hipótese de que pode existir água líquida sob a atmosfera rica em hidrogênio do planeta. (Cores-fantasia.)

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

Estima-se que o Universo observável tenha bilhões de galáxias e que cada uma delas possa abrigar bilhões de estrelas. Ainda que nem todas as estrelas tenham um sistema planetário, os cientistas estimam que a maioria deva ter. Imagine, então, quantos planetas podem existir no Universo. Esse número tão grande pode nos fazer questionar: Como o Universo teve início? O planeta Terra é único? Existe vida fora da Terra? Quais são as condições necessárias para a vida? Responder a essas e a muitas outras perguntas relacionadas à origem do Universo e à vida requer os esforços de cientistas de diversas áreas.

Nesta unidade, vamos estudar a teoria científica mais aceita para explicar a origem e a evolução do Universo, a evolução das estrelas, a formação e a estrutura do Sistema Solar e sua relação com a busca de vida fora da Terra, além dos movimentos dos corpos no espaço e na superfície terrestre.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O Universo sempre existiu ou teria ocorrido um início para ele?
2. As estrelas, em seu processo de evolução, produzem muitos dos elementos químicos distribuídos pelo Universo, como o oxigênio e o nitrogênio. A composição química dos planetas que orbitam diferentes estrelas no Universo afeta a possibilidade de existência de vida como a conhecemos?
3. O movimento dos corpos celestes, assim como o movimento dos corpos na superfície da Terra, pode ser caracterizado por grandezas físicas como a velocidade, a aceleração, o deslocamento e o tempo. O que essas grandezas representam e quais são algumas das unidades de medida utilizadas para sua medição?

Esta abertura permite uma abordagem interdisciplinar com Biologia e Química ao explorar a relação entre a composição química dos planetas e a possibilidade de existência de vida como a conhecemos fora da Terra. Se possível, consulte as aberturas da unidade 1 do volume de Biologia e da unidade 1 do volume de Química, faça um planejamento prévio e trabalhe de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza. Converse com os estudantes sobre as condições necessárias para a vida na Terra e explique por que os cientistas buscam por planetas fora do Sistema Solar com características semelhantes às do planeta Terra.

Capítulo 1

O início de tudo

OBJETO DIGITAL *Podcast*: **Preciso estudar Física?**

O mais novo equipamento de observação do céu à disposição dos astrônomos e dos cientistas é o supertelescópio espacial Euclid – denominação que homenageia o matemático grego Euclides de Alexandria (325 a.C.-265 a.C.), considerado o pai da Geometria. Desenvolvido por um consórcio europeu composto de mais de 2 mil cientistas em 16 países, ele foi colocado no espaço em 1º de julho de 2023, nas proximidades do também recente supertelescópio espacial James Webb, lançado em 2021. Um dos objetivos do Euclid é criar o mais extenso mapa 3-D do Universo. Para isso, ele observará a luz de galáxias a até 10 bilhões de anos-luz de distância da Terra, revelando o passado distante de um Universo que teria se originado há 13,8 bilhões de anos. Ao mapear essas galáxias, o telescópio fornecerá dados importantes para as pesquisas sobre a energia escura e a matéria escura que parecem permear 95% do Universo, ajudando a revelar o papel de ambas na evolução do Universo como o conhecemos hoje e a responder aos inquietantes questionamentos: como o Universo se originou? Haverá um limite para sua evolução? Qual será o futuro do Universo?

Neste capítulo, vamos estudar os conceitos e as teorias que nos possibilitam compreender a origem e a evolução do Universo.

ESA/EUCLID/EUCLID CONSORTIUM/NASA

NGC 6822. Primeira galáxia irregular observada pelo telescópio espacial Euclid em novembro de 2023, localizada a cerca de 1,6 milhão de anos-luz da Terra. (Cores-fantasia.)

Como tudo começou? A teoria do Big Bang

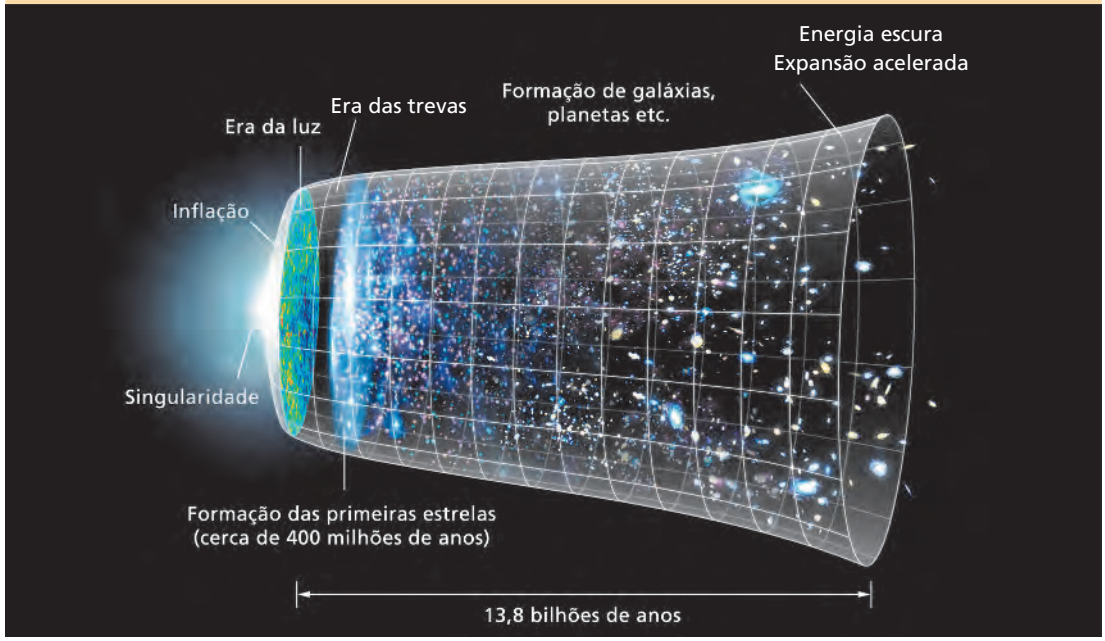
A **teoria do Big Bang** é, hoje, a mais aceita e consistente para explicar a origem do Universo. Apesar de existirem questões que ela não elucida totalmente, todas as previsões matemáticas e medidas observacionais realizadas até o momento a corroboram.

De acordo com essa teoria, o Universo teve origem a partir de uma **singularidade**, isto é, algo muito pequeno equivalente ao conceito geométrico de um ponto, que não tem dimensão, mas tem densidade infinita. Essa singularidade continha em si todo o conteúdo de matéria e de energia do Universo, em um estado inicial de densidade e temperatura extremamente altas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A singularidade passou então por um processo de expansão muito rápido inicialmente, dando origem ao espaço-tempo e a toda matéria e energia do Universo que conhecemos hoje. De maneira simplificada, vamos analisar a evolução do Universo em cinco fases: o Universo primitivo, a era da luz, a era das trevas, o Universo atual e o futuro distante.

Fases da evolução do Universo



WMAP SCIENCE TEAM/NASA

Fonte: NASA/LAMBDA Education & Graphics. **ΛCDM Model of Cosmology**. [*S. l.*, 20--]. Disponível em: https://lambda.gsfc.nasa.gov/education/graphic_history/univ_evol.html. Acesso em: 19 abr. 2024.

Representação artística simplificada da evolução do Universo, desde o Big Bang até os dias atuais. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A seguir, apresentamos uma descrição com mais detalhes de cada uma dessas fases.

Universo primitivo: essa fase incluiu o primeiro picossegundo do Universo, ou seja, tudo o que aconteceu entre o Big Bang e a fração de tempo de 10^{-12} s. Foi durante essa fase, cerca de 10^{-30} s depois do Big Bang, que houve a expansão acelerada do Universo conhecida como inflação. Ocorreu também nessa fase a separação das quatro forças fundamentais da Física: nuclear fraca, nuclear forte, eletromagnética e gravitacional.

Era da luz: essa fase durou pouco menos de 380 mil anos. Alguns núcleos atômicos, constituídos de prótons e nêutrons, formaram-se nos primeiros dois minutos. Os núcleos mais abundantes nessa fase foram o deutério e o hélio, além de traços dos núcleos de lítio, berílio e boro.

Era das trevas: essa fase se iniciou logo após a era da luz, cerca de 380 mil anos após o Big Bang, e durou aproximadamente 1 bilhão de anos. Nessa fase, o Universo esfriou o bastante para que se formassem átomos neutros, ou seja, com os elétrons se juntando aos núcleos atômicos, principalmente átomos de hidrogênio, hélio e traços de lítio. Todos os outros átomos representados na tabela periódica foram formados posteriormente, em outra fase do Universo, principalmente durante a evolução e a morte das estrelas. Os átomos formados na era das trevas emitiram um tipo de radiação chamada **radiação cósmica de fundo**. Essa radiação, que permeia todo o Universo, é observada pelos astrônomos ainda hoje e é uma das evidências mais fortes que sustentam a teoria do Big Bang. No final da era das trevas, formaram-se as primeiras estrelas, galáxias e os primeiros aglomerados de galáxias. O Universo começou a adquirir uma estrutura similar à que observamos hoje.

Universo atual: essa fase se inicia após o primeiro bilhão de anos e se estende até os dias atuais, cerca de 13,8 bilhões de anos após o Big Bang. Nesse intervalo de tempo, não houve mudanças drásticas na estrutura do Universo como um todo. Ele permanece em expansão, embora em uma escala menor; estrelas nascem, evoluem e morrem; átomos com maior número de prótons que o do hélio são continuamente produzidos no interior das estrelas; e galáxias evoluem; mas sem mudar a conformação do Universo como o conhecemos e conseguimos explicar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Futuro distante: os cientistas ainda não sabem como será o futuro distante do Universo. O papel de componentes importantes, como a matéria escura e a energia escura, que estudaremos mais adiante, ainda é pouco conhecido. Estudar o Universo como o conhecemos hoje, sua origem e sua evolução ajuda os cientistas a construir cenários possíveis para o futuro.

Modelo cosmológico padrão: matéria escura e energia escura

A Cosmologia é a área da Astronomia que estuda a origem, a estrutura e a evolução do Universo. Ela segue um modelo-padrão para o Universo em grande escala, chamado **λCDM**; CDM é a sigla em inglês para matéria escura fria (***c**old **d**ark **m**atter*) e λ representa uma constante associada à energia escura.

A matéria escura é um componente ainda pouco conhecido, porém extremamente relevante para descrever o funcionamento do Universo. Ela recebe esse nome porque não é possível observá-la diretamente. Embora não emita nenhuma radiação eletromagnética, como a luz, nem interaja com ela, sabemos que a matéria escura existe, pois exerce forças gravitacionais assim como a matéria que conhecemos. Quando realizam cálculos acerca do movimento de estrelas, galáxias ou aglomerados de galáxias, os astrônomos conseguem estimar a massa dentro de determinada região. No entanto, esse valor não corresponde ao da massa visível, observável. Como não se sabe exatamente do que se trata nem é possível observar diretamente essa matéria, ela foi denominada **matéria escura**. Acredita-se que ela seja a responsável por exercer a atração gravitacional extra necessária para explicar o movimento de estrelas e galáxias. Portanto, a matéria escura é determinada de forma indireta, ou seja, sua detecção não é feita por meio de sua observação direta, mas pela observação de outros corpos celestes.

Na tirinha, o bugio Caco concluiu de modo indireto que o tucano Tuca roubou suas goiabas.

A existência da matéria escura pôde ser comprovada graças aos trabalhos realizados em 1978 pela astrônoma estadunidense Vera Cooper Rubin (1928-2016), que estudava a rotação das galáxias.

Outro elemento importante do modelo cosmológico padrão é a **energia escura**. Assim como a matéria escura, a energia escura é um componente do Universo que não pode ser visto diretamente, mas seus efeitos são observáveis; porém sua natureza ainda é desconhecida. Sabemos que a expansão do Universo é acelerada, pois a intensidade da velocidade com que uma galáxia distante, por exemplo, se afasta de um observador aumenta com o tempo. À energia associada a essa expansão acelerada foi dado o nome de energia escura.

HO/CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON/AFP

Os trabalhos da astrônoma Vera Cooper Rubin forneceram evidências da existência da matéria escura (Carnegie Institution for Science, EUA, 1970).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Uma possível relação entre a matéria escura e a energia escura ainda é desconhecida, elas podem estar relacionadas a fenômenos totalmente independentes, mas pesquisas continuam sendo feitas para conhecer mais sobre esses componentes importantes para a compreensão do Universo.

O modelo cosmológico padrão indica que cerca de 68% do Universo é composto de energia escura, aproximadamente 27% é composto de matéria escura e apenas 5% é composto da matéria que conhecemos e observamos diretamente, como planetas, estrelas, galáxias etc.

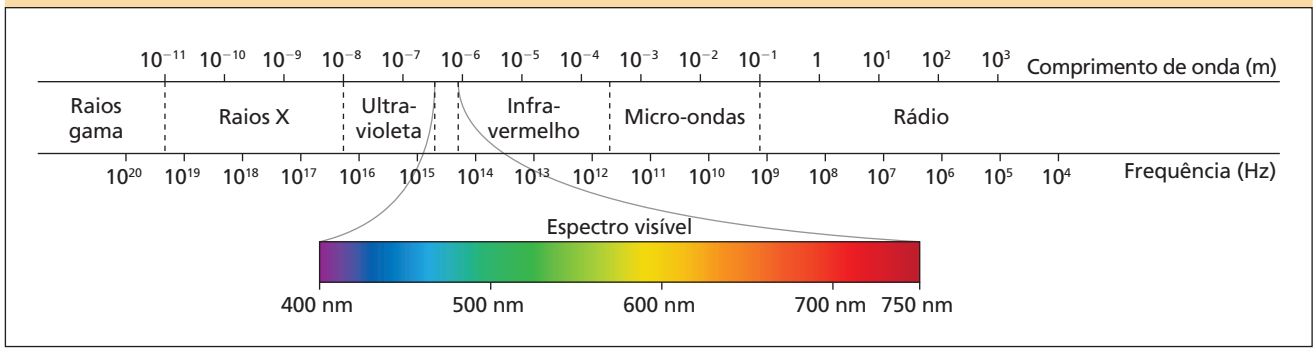
Partículas elementares

De acordo com o chamado modelo-padrão, toda a matéria que conhecemos no Universo, ou seja, os 5% que podemos observar diretamente, é composta de três tipos de partículas elementares: *quarks*, léptons e partículas mediadoras. *Quarks* são partículas que podem se combinar para formar prótons e nêutrons, por exemplo – os prótons e os nêutrons são formados por três *quarks*. Já um exemplo de lépton são os elétrons. Quando as partículas elementares interagem entre si, formando prótons ou nêutrons, as partículas mediadoras são as responsáveis por essas interações. A interação eletromagnética, por exemplo, tem como partícula mediadora o fóton.

Lei de Hubble-Lemaître e a expansão do Universo

As radiações eletromagnéticas, nas quais está incluída a luz visível, podem ser decompostas em uma distribuição de frequências ou comprimentos de onda chamada de espectro eletromagnético.

Espectro eletromagnético



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 4.

Espectro eletromagnético, com destaque para a faixa visível do espectro.

ADOBE/EASY MEDIABANK

Luz branca atravessando um prisma e sendo decomposta nas cores do arco-íris.

A luz visível, também conhecida como luz branca, é um tipo de radiação eletromagnética em um intervalo de comprimentos de onda visível ao olho humano e associado às diferentes cores. A luz branca pode ser decomposta em uma distribuição de frequências ou comprimentos de onda chamada de espectro da luz visível.

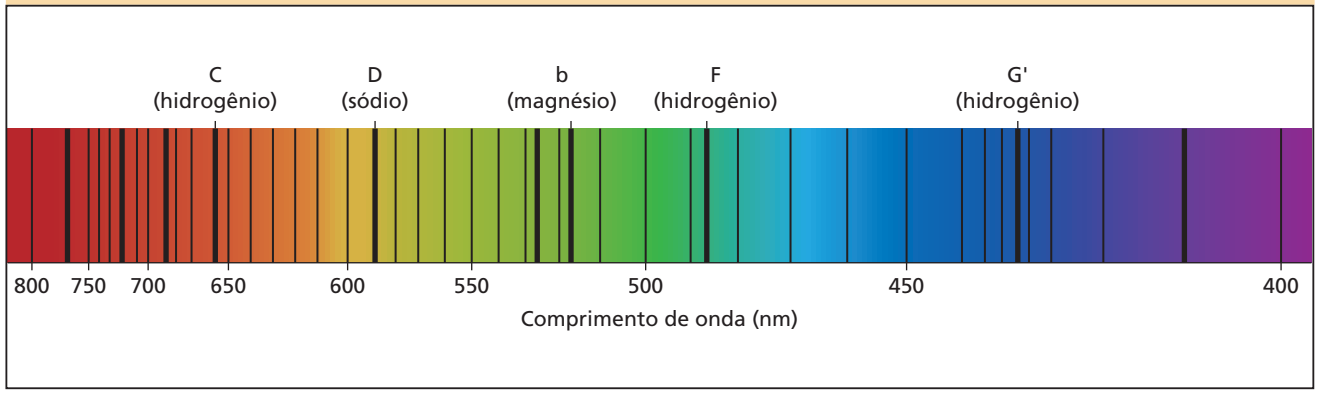
Ao decompor a luz branca, como a luz solar visível, é possível observar a distribuição de frequências ou comprimentos de onda visíveis ao olho humano e associadas às diferentes cores, do violeta ao vermelho.

Por meio do espectro, podemos obter informações relacionadas à temperatura do corpo emissor da radiação, ao seu movimento ou até mesmo à sua composição química.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando observamos o espectro de absorção de uma estrela, por exemplo, vemos um espectro contínuo com todas as cores e, sobrepostas a ele, várias linhas escuras de absorção. Essas linhas escuras indicam que a radiação emitida pela estrela foi absorvida em determinados comprimentos de onda, que podem ser associados a moléculas ou a elementos químicos específicos.

Espectro de absorção do Sol



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a Química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, maio 1996. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc03/historia.pdf. Acesso em: 20 abr. 2024.

Linhas mais proeminentes do espectro de absorção do Sol. No espectro completo de absorção do Sol, existem cerca de 25 mil linhas de absorção que fornecem informações sobre a composição química do Sol.

Entretanto, se a estrela estiver se aproximando da Terra, essas linhas espectrais acabam se deslocando para comprimentos de onda menores, ou seja, para o lado azul do espectro visível, e por isso esse efeito é chamado de **desvio para o azul**.

Efeito similar ocorre no caso das estrelas que estão se afastando da Terra, com a diferença de que os comprimentos de onda observados são maiores que aqueles esperados, ou seja, as linhas espectrais acabam sendo deslocadas para o lado vermelho do espectro visível. Portanto, o efeito é classificado como **desvio para o vermelho**.

Dados observacionais obtidos desde a década de 1920 de objetos fora da Via Láctea, galáxia à qual pertencem o Sistema Solar e a Terra, mostravam desvios significativos para o vermelho. Observações posteriores comprovaram esses resultados e revelaram que esse desvio aumentava quanto mais distante estava o objeto.

Ainda na década de 1920, o padre e astrônomo belga Georges Lemaître (1894-1966) explicou que os desvios para o vermelho aconteciam porque o Universo estava se expandindo. Ao se expandir, todos os corpos do Universo que não estão ligados gravitacionalmente se afastam uns dos outros. Assim, é possível observar o desvio para o vermelho em seus espectros.

O trabalho de Lemaître não foi bem divulgado para os outros astrônomos do mundo, pois foi publicado em francês e em uma revista científica com pouca repercussão. Alguns anos mais tarde, o astrônomo estadunidense Edwin Powell Hubble (1889-1953) apresentou um artigo com conclusões semelhantes às de Lemaître. Porém, como publicou em inglês e em uma revista bem conhecida no meio acadêmico, os créditos do estudo acabaram sendo atribuídos somente a ele. Tornou-se então conhecida a chamada lei de Hubble, que em 2018 foi renomeada pela União Astronômica Internacional como **lei de Hubble-Lemaître**, expressa por:

$$v = H_0 \cdot D$$

Em que v representa a intensidade da velocidade de afastamento do objeto em km/s, H_0 é um valor constante interpretado como a taxa de expansão do Universo, conhecido como **constante de Hubble**, e D indica a distância entre o observador e o objeto, dada usualmente em Mpc (megaparsec).

O valor da constante de Hubble mudou ao longo das últimas décadas e depende de parâmetros ainda não bem estabelecidos. Atualmente, o valor utilizado e que se encontra em concordância com as observações de grandes telescópios é $H_0 = 74$ km/(s · Mpc).

O **parsec (pc)** é uma unidade de medida de distância muito usada em Astronomia para medir a distância entre corpos fora do Sistema Solar.

$$1 \text{ pc} \simeq 3 \cdot 10^{16} \text{ m e } 1 \text{ Mpc} \simeq 1 \cdot 10^{6} \text{ pc}$$

Outra unidade de medida muito usada em Astronomia é o **ano-luz**, que corresponde à distância percorrida pela luz no vácuo em um ano: 1 ano-luz $\simeq$ 9.500.000.000.000 km. Portanto, a correspondência entre o parsec e o ano-luz é: 1 pc $\simeq$ 3,26 anos-luz.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Big Bang

SINGH, S. **Big Bang**. Rio de Janeiro: Record, 2006.

Nesse livro, o físico britânico Simon Singh descreve de forma clara e bem-humorada os progressos da Física Moderna e da Cosmologia ao longo dos séculos, apresentando uma narrativa detalhada da teoria do Big Bang.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O que a teoria do Big Bang afirma sobre a origem e a evolução do Universo?
1. A teoria descreve a origem e expansão do Universo a partir de uma singularidade.

2. Sabe-se que ano-luz não é uma unidade de medida de tempo, e sim uma unidade de medida de distância muito usada em Astronomia. Sabendo que a intensidade da velocidade da luz no vácuo é de 300.000 km/s, determine o valor aproximado de um ano-luz:

a. em quilômetro; 2. a. $\simeq 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km

b. em metro. 2. b. $\simeq 9{,}5 \cdot 10^{15}$ m

3. Determine a distância média de uma galáxia que, com a expansão do Universo, se afasta da Terra com velocidade de intensidade 384 km/s. Considere a constante de Hubble $H_0 = 74$ km/(s · Mpc). 3. $\simeq 5$ Mpc ou $\simeq 1{,}5 \cdot 10^{20}$ km

4. A estrela Alpha Crucis, também conhecida como estrela de Magalhães, é a mais brilhante da constelação do Cruzeiro do Sul e está localizada a cerca de 99 parsecs da Terra. Qual é a distância, em km, dessa estrela à Terra? 4. $\simeq 3{,}1 \cdot 10^{15}$ km

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO A Ciência é uma construção humana, mas todos os humanos constroem a Ciência?

Nós, habitantes do planeta Terra, nos conectamos uns aos outros por meio de muitos elementos. Por exemplo, estamos todos submetidos à mesma ação da força gravitacional, que age sobre todos os corpos com massa que se encontram na zona de atuação do campo gravitacional terrestre.

A força gravitacional é uma das quatro forças fundamentais da natureza, ou seja, é uma das forças que nos permitem descrever e compreender as interações que ocorrem na natureza. Desde as mais triviais e cotidianas, como o simples ato de levantar um objeto, até as interações mais complexas, relacionadas aos modelos de evolução e expansão do Universo, por exemplo. Além da força gravitacional, as outras forças fundamentais são: eletromagnética, que descreve as interações e os movimentos das partículas em fenômenos elétricos e magnéticos; nuclear forte, responsável pelas interações entre prótons e elétrons no núcleo atômico; e nuclear fraca, que explica os processos relacionados à radioatividade.

Além de compartilhar esse mesmo mundo físico, nossas experiências de vida em sociedade nos unem. Na vida em sociedade, as relações entre as pessoas se dão por meio de experiências em que são compartilhados elementos culturais, como modos de vida e de compreensão da natureza, línguas, religiões, expressões artísticas, conhecimentos científicos, entre outros.

O compartilhamento do conhecimento científico foi, historicamente, essencial para o desenvolvimento científico, tecnológico e social. Atualmente, com a profissionalização da pesquisa científica, que se consolidou como um campo de trabalho, muitos acreditam que apenas os cientistas contribuem para a produção de conhecimento científico, mas isso nem sempre é verdade. Registros históricos mostram a contribuição dos chamados amadores na produção de conhecimento em diferentes áreas da ciência, como Astronomia e Botânica, entre outras.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

A colaboração da sociedade na produção científica é conhecida hoje como "ciência cidadã", que consiste na interação entre cientistas e amadores (cientistas cidadãos ou cidadãos cientistas) para a realização de atividades científicas, como observação, coleta e análise de dados. O desenvolvimento de metodologias participativas permite que qualquer pessoa interessada desenvolva atividades formais de pesquisa e contribua para a produção de conhecimento científico. Projetos de ciência cidadã proporcionam oportunidades de disseminar conhecimentos científicos atualizados e estimular o engajamento da população com a ciência.

O projeto *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS), por exemplo, tem como objetivo mapear objetos astronômicos, como estrelas e galáxias, por meio de imagens coletadas por telescópios e processadas por computadores. O volume de imagens obtidas e o número de objetos astronômicos identificáveis são tão grandes que, de acordo com os pesquisadores do projeto, não haveria astrônomos em número suficiente no mundo para analisar todos os dados coletados. Para ajudar na classificação das galáxias, a solução encontrada foi convidar voluntários. O projeto *Galaxy Zoo* foi lançado, então, para que cientistas cidadãos do mundo todo pudessem colaborar com o projeto SDSS e a pesquisa científica.

[...]

Os resultados do *Galaxy Zoo* foram surpreendentes. [...] em três semanas, 80 mil usuários se cadastraram e realizaram mais de 10 milhões de tarefas de classificação de imagens de galáxias.

Ao final de um ano havia 150 mil usuários, que classificaram mais de 50 milhões de imagens: em média, cada galáxia foi classificada mais de 50 vezes. Ferramentas auxiliares, como blogues e um fórum de discussões, foram criados para que os voluntários pudessem fazer observações, sugerir objetos interessantes e rever suas colaborações.

Fonte: SOARES, M. D.; SANTOS, R. D. C. Ciência Cidadã. **Revista Ciência Hoje**, São Paulo, maio 2011. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/artigo/ciencia-cidada/. Acesso em: 21 abr. 2024.

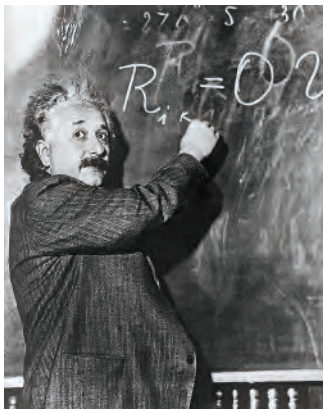
1. Por que a Ciência é considerada uma construção humana?
2. O que é ciência cidadã? Você conhece algum projeto de ciência cidadã desenvolvido em sua comunidade?
3. Com relação à participação dos voluntários no projeto *Galaxy Zoo*, você acha que os resultados obtidos seriam possíveis se as atividades ficassem restritas aos astrônomos profissionais? De acordo com as informações do texto, o tempo para se obter os resultados seria o mesmo?
4. No Brasil, diferentes projetos de ciência cidadã contribuem para despertar o interesse da população pela Ciência, pela conservação ambiental e pelo desenvolvimento sustentável. O Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr), por exemplo, é uma iniciativa que consolida uma infraestrutura nacional de dados e conteúdo em biodiversidade e conta com diferentes projetos em sua plataforma. Os cidadãos cientistas são voluntários que podem documentar registros de padrões ecológicos das espécies, propagação de doenças infecciosas, tendências populacionais, alterações em paisagens e mudanças climáticas. Em projetos como esses, você considera que um pesquisador externo atuando em uma região seria capaz de coletar o mesmo volume e qualidade de informações que as populações locais? Por quê?

1. Porque a Ciência é construída a partir de uma busca contínua do ser humano para entender o mundo natural, considerando as experiências da vida em sociedade.
2. Ciência cidadã é a colaboração da sociedade na produção científica.
3. Espera-se que os estudantes reconheçam a importância dos voluntários para processar o volume de dados obtidos no projeto.
4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes mencionem que os cidadãos possuem experiências próprias de vivência que os pesquisadores externos não possuem.

Cosmologia: visão clássica de Newton e visão relativística de Einstein

Em 1687, o físico inglês Isaac Newton (1643-1727) compôs, com base nos trabalhos de cientistas que o antecederam, uma lei para explicar o movimento dos astros baseada na gravidade. Newton universalizou o conceito de gravidade determinando que a força que puxa um objeto para o centro da Terra tem a mesma natureza da força que mantém a Lua em órbita em torno da Terra, chamada **força gravitacional**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



BETTMANN/COLLABORATOR/GETTY IMAGES

Albert Einstein em aula no Instituto de Tecnologia da Califórnia, em 1931. Einstein é reconhecido como um dos grandes físicos de todos os tempos.

O modelo de Newton, válido até os dias atuais, foi generalizado pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955), em 1915.

Quando pensamos em como descrever o movimento de diferentes corpos que estão sob ação da força gravitacional, é natural considerarmos o trabalho de Newton. Porém, quando tratamos de escalas muito pequenas (como na Física Quântica) ou muito grandes (como no Universo em larga escala), precisamos tomar alguns cuidados.

O estudo da Cosmologia parte de um princípio fundamental, chamado **princípio cosmológico**. De acordo com esse princípio, observadas em escalas suficientemente grandes, as propriedades do Universo são as mesmas em qualquer região.

Pode parecer uma afirmação simples, porém várias implicações importantes derivam do princípio cosmológico, por exemplo:

- as leis da Física podem ser aplicadas em qualquer região do Universo;
- as distribuições de matéria e de energia no Universo, em larga escala (escalas maiores que 250 milhões de anos-luz), devem ser as mesmas, independentemente da direção que observamos;
- o Universo não tem bordas e, portanto, também não tem um centro.

Quando tentamos aplicar as leis desenvolvidas por Newton para o Universo em grande escala, deparamos com alguns problemas. Isso não quer dizer que Newton estivesse errado ou que suas equações não sejam válidas, mas que suas leis têm limitações. Podemos considerar as leis de Newton como aproximações muito boas para explicar fenômenos físicos em situações em que:

- a velocidade relativa entre o observador e o objeto observado seja pequena (isto é, muito inferior a 0,001% da velocidade da luz no vácuo: $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s);
- a escala considerada seja pequena (isto é, muito inferior a 0,001% de 1 ano-luz).

Para escalas maiores que essas, as leis de Newton precisam de um fator de correção que foi desenvolvido por Einstein em suas teorias da relatividade restrita e geral, conforme estudaremos a seguir. Já nas escalas de tamanho às quais estamos acostumados na Terra, e para objetos que viajam nas velocidades a que estamos habituados, essa correção de Einstein pode ser desconsiderada, o que nos permite continuar aplicando as equações de Newton mesmo quando estamos tratando do movimento de planetas ao redor do Sol, por exemplo.

Relatividade restrita

Para compreender a **teoria da relatividade restrita**, também conhecida como **teoria da relatividade especial**, vamos imaginar que estamos dentro de um trem que vá viajar em linha reta em que não há janelas ou que elas estejam todas fechadas. Sabemos que o meio de transporte está parado em relação ao chão no instante em que entramos nele e somos capazes de sentir o instante em que ele começa a se mover, já que esse movimento inicial é acelerado.

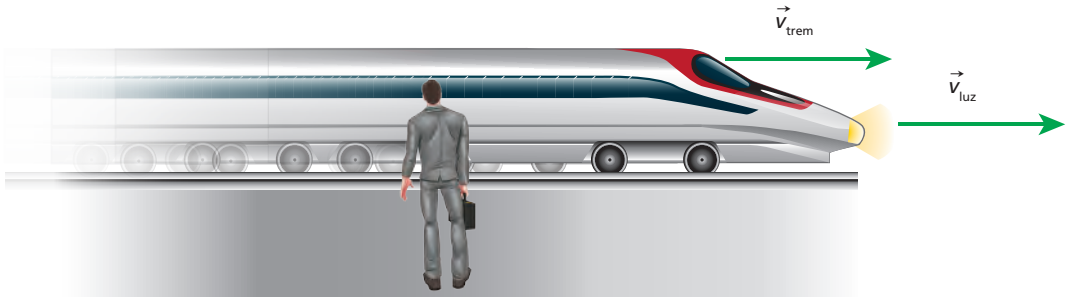
Ao chegar a determinado valor de velocidade, vamos supor que a aceleração se anule e, portanto, a velocidade, a partir desse instante, se mantenha constante. Se o trem não apresentar fricção com os trilhos ou, melhor ainda, se for um trem-bala magnético que desliza perfeitamente sem nenhum tipo de vibração, uma criança que tenha entrado dormindo em um de seus vagões e acorde apenas quando sua velocidade já estiver constante será incapaz de determinar, sem olhar para fora, se o trem está se movimentando ou parado em relação ao mundo externo.

Quando temos dois sistemas referenciais, como o trem e a plataforma do nosso exemplo, ambos com velocidade constante, podemos considerar que qualquer um dos dois está em movimento ou parado sem que haja variação nas equações de movimento. Ou seja, quem estiver dentro do trem pode imaginar que ele está parado e que a Terra está se movimentando abaixo dele.

Um fenômeno curioso pode ser observado quando levamos em conta que a intensidade da velocidade da luz (c) é constante em um meio homogêneo e que nada pode

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

atingir velocidade de intensidade superior à da velocidade da luz no vácuo, que é de aproximadamente 300.000 km/s. Vamos imaginar que o trem esteja viajando com velocidade de intensidade v_{trem}. Consideremos agora que um fóton de luz é emitido pelo farol localizado na parte dianteira do trem, como mostra a figura a seguir. Qual seria a intensidade da velocidade desse fóton observado por alguém em repouso fora do trem?



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Uma pessoa parada na plataforma observa um trem se movimentando com velocidade de intensidade v_{trem} e um fóton emitido a uma velocidade de intensidade v_{luz} pelo farol do trem. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

De acordo com a Mecânica clássica, teríamos de adicionar a velocidade do trem $(\vec{v}_{trem})$ à velocidade com que o fóton $(\vec{v}_{luz})$ é emitido. Porém, isso implicaria uma velocidade de intensidade maior que a da luz. Como os fótons são partículas de radiação eletromagnética, as menores partículas de luz, esse fóton emitido não pode viajar a uma velocidade de intensidade maior que a da velocidade da luz no vácuo, *c*. É por isso que, quando começamos a estudar velocidades de intensidades altas, comparáveis à intensidade da velocidade da luz, a Física clássica precisa de alguns ajustes.

Albert Einstein foi uns dos primeiros físicos a estudar esse tipo de fenômeno, no início do século XX. Ele elaborou dois importantes postulados:

- **Princípio da relatividade:** as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais movendo-se com velocidade constante.
- **Constância da velocidade da luz:** a luz viaja com uma velocidade constante de intensidade *c* no vácuo, independentemente da velocidade da fonte de emissão.

Referencial inercial é o referencial de um corpo que continuará em repouso ou em movimento retilíneo uniforme se nenhuma força atuar sobre ele ou se a resultante das forças que atuarem sobre ele for nula.

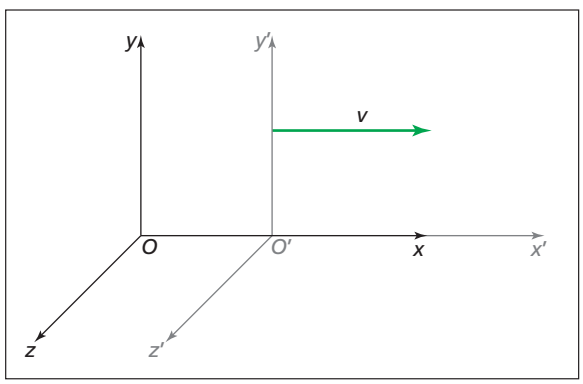
Para entender as correções que precisam ser feitas nas leis clássicas da Física quando consideramos velocidades de intensidade próxima à da velocidade da luz, vamos imaginar que o referencial *O* seja o referencial da pessoa parada na plataforma de trem e que o referencial *O'* seja o do trem, sendo *v* a intensidade da velocidade entre eles.

Na Mecânica clássica, a transformação para a posição entre esses dois referenciais seria simplesmente:

$$x' = x - vt$$

Mas, para considerarmos os efeitos da relatividade de Einstein, precisamos aplicar o chamado **fator de Lorentz**, dado por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Referenciais se movendo um em relação ao outro com velocidades constantes: referenciais inerciais.

Assim, a transformação da posição entre os dois referenciais, considerando o fator de Lorentz, é dada por:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Em que *c* representa a intensidade da velocidade da luz no vácuo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que, se v for desprezível em relação a c, essa equação se torna equivalente à transformação clássica de referenciais. Porém, quando o valor de v se aproxima de c, essa correção passa a ser indispensável.

Além da coordenada x, em que há o componente não nulo da velocidade, a transformação de Lorentz também precisa ser aplicada ao tempo, resultando em:

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Os efeitos da relatividade de Einstein podem também ser levados em consideração se pensarmos em um intervalo de tempo Δt, o que nos dá:

$$\Delta t_{\text{movimento}} = \frac{\Delta t_{\text{repouso}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Essa equação representa a **dilatação do tempo**. Isso quer dizer que um intervalo de tempo de 1 s para o observador em repouso não corresponde a um intervalo de tempo de 1 s para quem está em movimento. Logo, é como se o tempo passasse mais devagar para quem está em movimento em velocidades próximas da velocidade da luz.

Exemplo

O caso do múon na relatividade ilustra como partículas subatômicas chamadas múons, que têm uma vida curta, conseguem viajar distâncias maiores na Terra do que o esperado quando se movem a velocidades próximas à da luz. Isso ocorre devido à dilatação do tempo, um efeito previsto pela teoria da relatividade de Einstein, que mostra que o tempo passa mais devagar para objetos em movimento, com velocidade de intensidade próxima à da velocidade da luz, em relação a um observador parado. Múons em repouso decaem, ou seja, transformam-se em outras partículas, em média em 2,2 µs. Raios cósmicos que atingem a atmosfera da Terra podem dar origem a múons viajando com velocidade de intensidade próxima à da luz. Suponha que um desses múons tenha velocidade de intensidade 0,99c. Qual é o tempo de vida medido por um observador no solo para o múon?

O par de eventos nascimento e decaimento define o tempo de vida do múon. O início e o fim desse tempo de vida têm a mesma localização apenas em um referencial fixo ao múon. Portanto, um observador no referencial do múon mede o tempo próprio $2{,}2 \cdot 10^{-6}$ s. Queremos encontrar o intervalo de tempo medido por um observador na superfície terrestre, assim:

$$\Delta t_{\text{movimento}} = \frac{\Delta t_{\text{repouso}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t_{\text{movimento}} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1 - \frac{(0{,}99c)^2}{c^2}}} \therefore \Delta t_{\text{movimento}} \simeq 1{,}6 \cdot 10^{-5}\ \text{s} = 16\ \mu\text{s}$$

Já para um comprimento na direção x, a transformação de Lorentz é dada por:

$$\Delta x_{\text{movimento}} = \Delta x_{\text{repouso}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

A equação representa a **contração do espaço**.

Exemplo

Agora, vamos analisar outra situação fictícia para estudar o que ocorre na contração do espaço. Considere um objeto que se move com uma velocidade de intensidade igual a $0{,}8 \cdot c$ e percorre 5 anos-luz, de acordo com um referencial em repouso. Qual seria a distância percorrida por esse objeto medida no seu referencial em movimento?

Aplicando a seguinte equação de contração do espaço:

$$\Delta x_{\text{movimento}} = \Delta x_{\text{repouso}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x_{\text{movimento}} = 5\ \text{anos-luz} \cdot \sqrt{1 - \frac{(0{,}8c)^2}{c^2}} \therefore \Delta x_{\text{movimento}} = 3\ \text{anos-luz}$$

Para o objeto, a distância percorrida seria de 3 anos-luz.

Os efeitos da relatividade restrita de Einstein implicam que, em um referencial em movimento com uma velocidade de intensidade comparável à da luz, porém menor que esta, o tempo passará mais devagar (dilatação do tempo) e o espaço percorrido será menor (contração do espaço) que o registrado em um referencial de velocidade nula.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Noções de relatividade geral: o espaço-tempo e a teoria de gravitação de Einstein

No início do século XX, Einstein fez uma reformulação da teoria gravitacional elaborada por Isaac Newton. Essa reformulação, chamada de **teoria da relatividade geral**, possibilitou o desenvolvimento da teoria do Big Bang ao levantar novos questionamentos sobre a origem e a evolução do Universo, sugerindo que o Universo teve um início e que estaria em expansão.

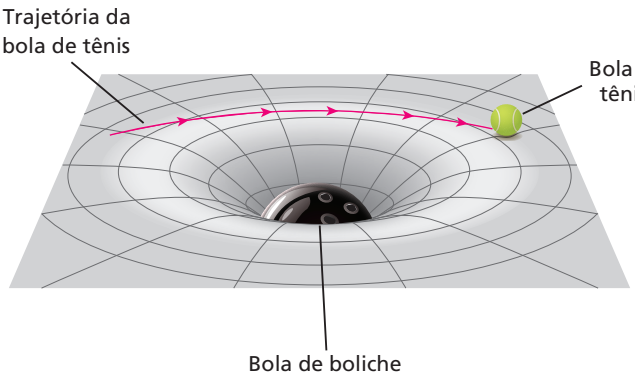
Para entender o funcionamento dessa teoria, seria necessário que conseguíssemos imaginar quatro dimensões simultâneas, o que não é uma tarefa simples. Estamos acostumados a viver em um mundo tridimensional, com altura, largura e profundidade.

Mas vamos tentar, imaginando primeiro um tecido elástico bem esticado. Esse tecido elástico bem esticado é uma analogia para o chamado **espaço-tempo**.

Um corpo, quando está presente no espaço-tempo e tem massa, causa uma curvatura nesse espaço-tempo. Assim, o movimento de outros corpos próximos a ele se dá no espaço-tempo curvo.

Vamos imaginar agora que uma formiga caminhe sobre esse tecido elástico e não produza praticamente nenhuma deformidade perceptível. Se jogarmos uma bola de tênis em cima dessa superfície elástica, ela causará uma deformação maior, mas talvez não o suficiente para ser percebida pela formiga.

Agora, imagine que no centro da superfície elástica seja posicionada uma pesada bola de boliche. A deformação da superfície elástica será grande o bastante para abarcar uma ampla região ao redor dessa bola. Se a bola de tênis e a formiga estiverem nessa região, como têm massas muito menores que a massa da bola de boliche, certamente se deslocarão sobre a superfície elástica sob influência da deformação causada pela bola de boliche.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da deformação de uma superfície elástica com uma bola de tênis e uma bola de boliche. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

De maneira análoga, no Universo, um corpo de grande massa, como o Sol, por exemplo, deforma todo o espaço-tempo ao redor, afetando o movimento de corpos menores à sua volta, como a Terra. Por sua vez, a Terra também tem massa e altera o espaço-tempo ao seu redor, e por essa razão, de acordo com a teoria de Einstein, temos o movimento orbital da Lua. O exemplo da superfície elástica nos permite observar apenas a distorção nas dimensões espaciais, mas, quando pensamos no Universo, precisamos considerar a distorção nas dimensões espaçotemporais.

Assim, de acordo com a teoria da relatividade geral, a gravidade é resultado das deformações no espaço-tempo causadas por corpos com massa. Todos os corpos com massa presentes no Universo causam uma distorção no espaço-tempo e, quanto maior a massa do corpo, maior é essa distorção.

Fique por dentro

O eclipse que revolucionou a Física

O ECLIPSE que revolucionou a Física. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, 27 maio 2019. 1 vídeo (2 min 36 s). Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/o-eclipse-que-revolucionou-a-fisica/. Acesso em: 20 abr. 2024.

O vídeo conta a história da observação do eclipse solar em Sobral, no Ceará, em 1919, que se tornou a primeira prova experimental da teoria da relatividade geral publicada pelo físico alemão Albert Einstein em 1915.

Comente com os estudantes que, logo após a publicação da teoria da relatividade geral em 1915, diversos cientistas começaram a buscar evidências experimentais para a teoria de Einstein. Apresente a reportagem sugerida na seção **Fique por dentro** para ampliar a discussão com os estudantes sobre o desenvolvimento e a comprovação de teorias científicas. Mais subsídios no Suplemento para o professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Suponha que um objeto possa viajar com uma velocidade relativa constante entre ele e um referencial em repouso e que essa velocidade tenha intensidade igual a 0,8c (em que c é a intensidade da velocidade da luz no vácuo). A distância percorrida pelo objeto, medida no referencial em repouso, é de 10 anos-luz. Qual será a distância, em ano-luz, medida no referencial em movimento?

Analisar o enunciado

O objeto viaja com velocidade constante de intensidade comparável à da velocidade da luz no vácuo e encontra-se em um referencial em movimento, em relação a um referencial em repouso. Portanto, ele está sujeito aos efeitos da teoria da relatividade restrita.

Selecionar as informações relevantes

Para determinar a medida da distância percorrida nessa viagem pelo objeto no referencial em movimento ($\Delta x_{movimento}$), precisamos saber a distância medida no referencial em repouso ($\Delta x_{repouso} = 10$ anos-luz) e a intensidade da velocidade relativa entre os referenciais em movimento e em repouso ($v = 0{,}8c$).

Aplicar o conceito estudado

O objeto se move com velocidade relativa de intensidade muito próxima à da velocidade da luz no vácuo; portanto, precisamos aplicar uma das consequências da teoria da relatividade restrita, o conceito de contração do espaço.

$$\Delta x_{movimento} = \Delta x_{repouso} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x_{movimento} = 10 \text{ anos-luz} \cdot \sqrt{1 - \frac{(0{,}8c)^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x_{movimento} = 10 \text{ anos-luz} \cdot \sqrt{1 - \frac{0{,}64c^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x_{movimento} = 10 \text{ anos-luz} \cdot \sqrt{0{,}36} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x_{movimento} = 10 \text{ anos-luz} \cdot 0{,}6$$

$$\therefore \Delta x_{movimento} = 6 \text{ anos-luz}$$

Verificar a solução

Como o objeto viaja com velocidade de intensidade próxima à da luz, espera-se que a medida da distância obtida no referencial em movimento seja menor que a medida da distância obtida no referencial em repouso (10 anos-luz), pois o objeto deve experimentar a contração do espaço. Então, podemos concluir que o resultado obtido é coerente.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. Ao comparar a visão clássica de Newton em relação à Física com a visão relativística de Einstein, é correto afirmar que: 5. Alternativa **c**.

a. ambas as teorias são equivalentes para velocidades de intensidades próximas à da velocidade da luz.

b. a teoria de Newton é mais precisa que a teoria de Einstein para velocidades de intensidades muito próximas à da velocidade da luz.

c. a teoria de Einstein trouxe correções importantes para a teoria de Newton quando tratamos de corpos com velocidades de intensidades próximas à da luz.

d. a teoria de Newton é válida para qualquer velocidade, enquanto a teoria de Einstein é válida apenas para velocidades de intensidades muito próximas à da velocidade da luz.

e. a teoria de Newton é válida para velocidades de intensidades muito maiores que a da velocidade da luz, enquanto a teoria de Einstein é válida apenas para velocidades de intensidades muito próximas à da velocidade da luz.

6. São dois: a intensidade da velocidade da luz no vácuo é constante e as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

6. Quais são os postulados da teoria da relatividade restrita de Einstein?

7. (Fatec-SP) Na teoria da relatividade restrita de Einstein, dois conceitos estudados referem-se ao fato de que, ao considerar um objeto propagando-se à velocidade da luz, podemos verificar

7. Alternativa **c**.

a. a dilatação do tempo e a dilatação do comprimento.

b. a contração do tempo e a dilatação do comprimento.

c. a dilatação do tempo e a contração do comprimento.

d. a dilatação do tempo sem contração do comprimento.

e. a contração do tempo sem contração do comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. A estimativa dos astrônomos é de que a galáxia de Andrômeda está a cerca de $2{,}5 \cdot 10^6$ anos-luz de distância da Via Láctea, galáxia à qual pertence o Sistema Solar e a Terra. Considere que a velocidade da luz no vácuo tem intensidade constante $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s e que 1 ano-luz é a distância percorrida pela luz no vácuo durante 1 ano terrestre ou aproximadamente $3{,}1 \cdot 10^7$ s.

a. Expresse 1 ano-luz em metro.

b. Determine, em metro, a distância entre Andrômeda e a Via Láctea. 1. a. 1 ano-luz $\simeq 9{,}3 \cdot 10^{15}$ m
1. b. $\simeq 2{,}3 \cdot 10^{22}$ m

2. Ao longo dos anos, o valor da constante de Hubble já variou entre 50 km/(s · Mpc) e 100 km/(s · Mpc). Atualmente, o valor utilizado e que se encontra em concordância com as observações de grandes telescópios é de 74 km/(s · Mpc).

a. Quais seriam as idades possíveis do Universo considerando o menor e o maior valor já utilizados para a constante de Hubble?

b. Como essas idades se comparam ao valor estimado mais aceito atualmente para a idade do Universo?

2. a. Para o menor valor da constante de Hubble: $t \simeq 19{,}1 \cdot 10^9$ anos; para o valor máximo da constante de Hubble: $t \simeq 9{,}5 \cdot 10^9$ anos.
2. b. O valor mais aceito atualmente para a idade do Universo é aproximadamente $13{,}8 \cdot 10^9$ anos; então, as idades têm a mesma ordem de grandeza.

3. (Uninorte-AM) Uma das evidências a favor da teoria do Big Bang, que explica a origem do Universo, foi observada pelo cientista Edwin Hubble (1889-1953). No ano de 1929, ele formulou a lei de Hubble, com base no fato de que todas as galáxias estão se afastando da Terra, ou seja, o Universo está em expansão. A lei de Hubble é dada pela equação $v = H \cdot d$, em que H é a constante de Hubble – igual a $15{,}3 \cdot 10^{-19}$ s^{-1}, aproximadamente –, v é a velocidade com a qual uma galáxia ou quasar está se afastando da Terra e d, a distância da galáxia ou quasar até a Terra. Considere-se um quasar, um corpo extremamente luminoso e muito massivo, que está se afastando da Terra com velocidade suposta constante de $2{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Com base nessas informações, pode-se afirmar que o intervalo de tempo decorrido desde a origem do quasar até hoje, ou seja, a idade do Universo, em ano, é da ordem de 3. Alternativa **c**.

a. 10^8.
b. 10^9.
c. 10^{10}.
d. 10^{11}.
e. 10^{12}.

4. A teoria da relatividade elaborada por Albert Einstein (1879-1955) foi fruto de sua genialidade e dedicação. Vale ressaltar, entretanto, que estudos precedentes do matemático francês Henri Poincaré (1854-1912) e do físico holandês Hendrik Lorentz (1853-1928), entre outros, tiveram contribuição importante no desenvolvimento dos trabalhos de Einstein.

A teoria da relatividade substituiu os conceitos independentes de espaço e tempo da teoria de Newton pela ideia de espaço-tempo como uma entidade geométrica unificada. Qual das alternativas a seguir apresenta corretamente um postulado básico da teoria de Einstein?

4. Alternativa **d**.

a. As leis da Física são diferentes em distintos referenciais inerciais.

b. O tempo passa mais devagar para um observador que está em repouso em relação a um referencial inercial.

c. O espaço e o tempo são absolutos e separados entre si.

d. As leis da Física são as mesmas e válidas em todos os referenciais inerciais.

e. O tempo passa de maneira absoluta, independentemente do referencial inercial.

5. (UFRGS-RS) Considere as afirmações a seguir, acerca da teoria da relatividade restrita.

I. O tempo não é absoluto, uma vez que eventos simultâneos em um referencial inercial podem não ser simultâneos se observados a partir de outro referencial inercial.

II. Segundo a lei relativística de adição de velocidades, a soma das velocidades de dois corpos materiais nunca resulta em uma velocidade acima da velocidade da luz.

III. As leis da natureza não são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movimentam com velocidade uniforme. 5. Alternativa **c**.

Quais estão corretas?

a. Apenas I.
b. Apenas II.
c. Apenas I e II.
d. Apenas II e III.
e. I, II e III.

6. (Unesp-SP) Instituído pela Organização das Nações Unidas, 2005 foi o Ano Mundial da Física, em que se comemorou o centenário dos trabalhos revolucionários publicados por Albert Einstein, o mais importante cientista do século XX (segundo a revista norte-americana *Time*). Na teoria da relatividade especial de Einstein, objetos que se movem com velocidade v em relação a um referencial inercial têm o tempo dilatado por um fator γ, para um observador em repouso nesse referencial. A tabela mostra valores de γ para diversos módulos da velocidade v, representados em múltiplos da velocidade da luz c (ou $c = 3 \cdot 10^8$ m/s).

v	γ
0,000c	1,000
0,100c	1,005
0,200c	1,021
0,400c	1,091
0,600c	1,250
0,800c	1,667
0,900c	2,294
0,998c	15,82
0,999c	22,37
c	∞

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

6. a. $3 \cdot 10^7$ m/s. A intensidade da velocidade para que o tempo dilate apenas 0,5% é muito maior que as intensidades das velocidades dos objetos em nosso dia a dia.
6. b. 12,5 minutos

Segundo esse modelo, pede-se:

a. Qual a velocidade, em m/s, que deve ser atingida pelo objeto para que a dilatação do tempo seja de apenas 0,5%? Comente como este resultado explica por que as pessoas não percebem os efeitos da dilatação do tempo no seu dia a dia.

b. Se para o objeto passaram-se 10 minutos, quantos minutos se passaram para um observador no referencial inercial que vê o objeto se movimentando à velocidade de 0,600c?

7. (UEL-PR) Os múons são partículas da família dos léptons, originados pela desintegração de partículas píons em altitudes elevadas na atmosfera terrestre, usualmente a alguns milhares de metros acima do nível do mar. Um múon típico, movendo-se com velocidade de 0,998c, realiza um percurso de aproximadamente 600 m durante seu tempo de vida média de $2 \cdot 10^{-6}$ s. Contudo, o tempo de vida média desse múon, medido por um observador localizado no sistema de referência da Terra, é de $30 \cdot 10^{-6}$ s. Considere a velocidade da luz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.
Com base nos conhecimentos sobre a teoria da relatividade, analise as seguintes afirmativas.

I. Essa discrepância de valores é explicada pelo aumento do tempo de vida média da partícula no sistema de referência da Terra, por um fator de Lorentz no valor aproximado de 15 para a velocidade dada.

II. No sistema de referência da Terra, um múon com essa velocidade percorre cerca de 9.000 m.

III. No sistema de referência da Terra, um múon com essa velocidade percorre cerca de 3.000 m.

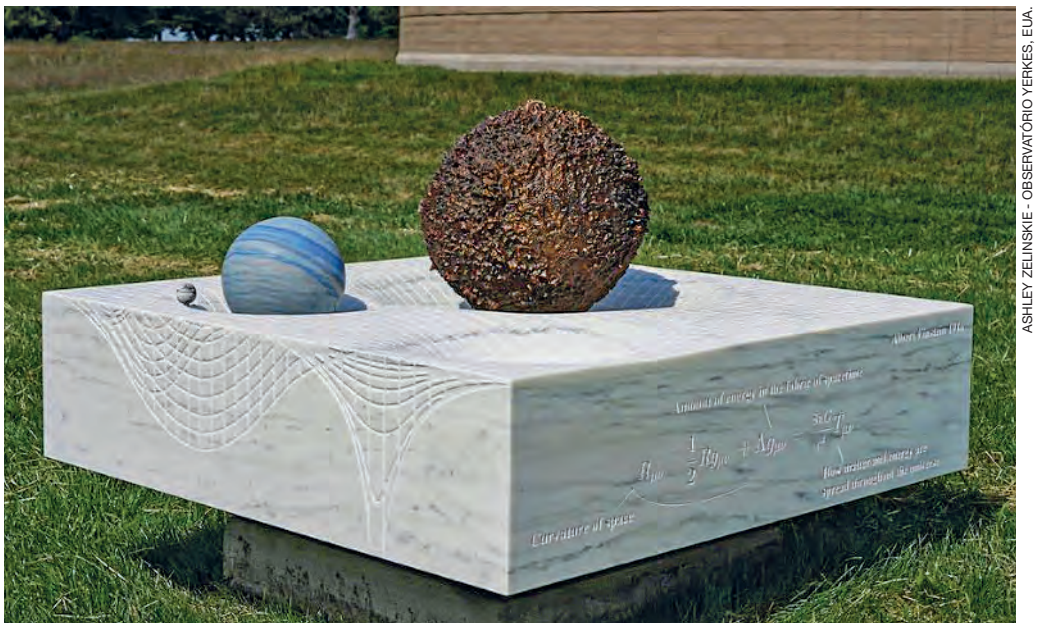
IV. Observações e medidas desse tipo confirmam previsões relativísticas.

Com base nos conhecimentos em Física, indique a alternativa que contém todas as afirmativas corretas.

a. I e IV.
b. II e III.
c. III e IV.
d. I, II e III.
e. I, II e IV.

7. Alternativa **e**.

8. A escultura *Time will tell* (O tempo dirá, em tradução livre), da artista Ashley Zelinskie, foi comissionada pelo Observatório Yerkes, nos Estados Unidos, para representar a curvatura do espaço-tempo descrita por Albert Einstein, que visitou o local em 1921. A escultura representa um planeta e sua lua, uma estrela e um buraco negro deformando a estrutura do espaço-tempo de diferentes maneiras. O título da obra faz referência ao conceito de energia escura, um componente do Universo cuja natureza ainda é pouco conhecida.



ASHLEY ZELINSKIE - OBSERVATÓRIO YERKES, EUA.

ZELINSKIE, A. **O tempo dirá**. 2023. 1 escultura variável, mármore, quartzito, granito e bronze. Coleção do Observatório Yerkes (EUA). Título original: *Time will tell*.

a. A escultura faz referência a qual teoria formulada por Einstein?

8. a. À teoria da relatividade geral.

b. Como essa teoria explica as diferentes deformações do espaço-tempo representadas na escultura?

8. b. De acordo com a teoria da relatividade geral, todos os corpos com massa no Universo causam deformações no espaço-tempo, e, quanto maior a massa do corpo, maior é essa deformação.

9. Uma afirmação recorrente é a de que "observar as estrelas e outros astros em noite de céu limpo é contemplar o passado".
Em grupo com três colegas, discutam essa afirmação, analisem se ela é correta ou incorreta e escrevam uma justificativa com base em argumentos científicos.

9. Espera-se que os estudantes argumentem que, como esses corpos celestes estão muito distantes da Terra, a luz emitida por eles leva muito tempo para chegar até aqui.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 2

Estrelas e o Sistema Solar

S. BRUNIER/CC BY 4.0/ESO

Os quatro principais telescópios da instalação Very Large Telescope (VLT), localizada no deserto do Atacama, Chile (2010). Com esse conjunto de telescópios, os cientistas podem detectar e caracterizar planetas possivelmente habitáveis fora do Sistema Solar – chamados de exoplanetas –, além de estudar a origem e a evolução do Universo.

Em junho de 2019, um novo instrumento para detecção de planetas fora do Sistema Solar, ou exoplanetas, foi instalado no complexo Very Large Telescope, localizado no Chile e operado pelo European Southern Observatory (ESO), sediado na Alemanha. Com esse instrumento, esse conjunto de telescópios é capaz de detectar exoplanetas na vizinhança de estrelas, em regiões conhecidas como zona habitável. Essa região determina a distância até a estrela em que poderia existir água no estado líquido na superfície do planeta que a orbita. Isso ocorre porque a água é uma substância essencial para a manutenção da vida como a conhecemos na Terra.

Neste capítulo, vamos estudar a formação e a evolução das estrelas, a formação do Sistema Solar e os principais modelos propostos para o Sistema Solar ao longo da história.

Nascimento e fonte de energia das estrelas

As estrelas são formadas em imensas nuvens de gás (na maior parte hidrogênio e hélio) e poeira denominadas nebulosas. Em razão da força gravitacional, as partículas que formam as nuvens se atraem gravitacionalmente e se concentram e, quando atingem massa suficiente, colapsam sob a ação da própria gravidade, coletando material à sua volta e formando um gigantesco disco. No centro do disco, existe uma massa esférica que chamamos de **protoestrela**. Cada vez mais, a protoestrela se compacta, levando a um aumento vertiginoso de sua temperatura interna, o que faz com que se inicie a fusão nuclear de átomos de hidrogênio. Com o início do processo de fusão e da liberação de energia, a compactação cessa e a esfera de gás entra em equilíbrio, ficando estável. Podemos dizer, então, que é nesse momento que uma estrela nasce, quando tem início o processo de fusão de hidrogênio em hélio em seu núcleo. Assim, por meio de reações de fusão nuclear, as estrelas produzem sua própria energia e, consequentemente, seu brilho.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SDO/AIA/NASA

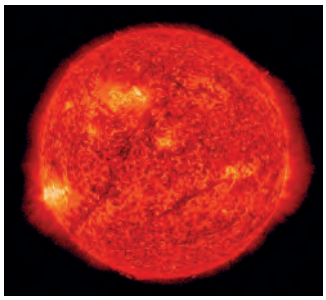


Imagem do Sol registrada pela sonda Solar Dynamics Observatory (2024) e colorida artificialmente. (Cores-fantasia.)

Com a teoria da relatividade restrita e a teoria da relatividade geral, publicadas em 1905 e 1915, respectivamente, Albert Einstein mostrou que a eficiência máxima de produção de energia ocorre quando a matéria é aniquilada, ou seja, quando a massa é transformada em energia. Esse fenômeno obedece à seguinte equação:

$$E = m \cdot c^2$$

Em que m é a massa aniquilada e c é a intensidade da velocidade da luz no vácuo.

Em 1920, depois da publicação da teoria da relatividade, o físico inglês Arthur Eddington (1882-1944) propôs que essa equação poderia explicar a fonte da energia do Sol, mas não conseguiu desenvolvê-la por completo, pois o estudo da estrutura dos átomos era muito incipiente. Finalmente, em 1938, o físico alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005) desenvolveu a teoria da fusão nuclear e explicou como o processo de fusão poderia ser responsável pela produção de energia nas estrelas e por fazer elas brilharem. Por esse estudo recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1967.

Todas essas conclusões nos permitem realizar estimativas sobre quanto tempo o Sol ainda brilhará. Conhecendo a massa do Sol, supondo que ele converterá cerca de 10% de sua massa de hidrogênio em hélio ao longo de sua vida e sabendo que 75% do Sol é composto de hidrogênio, cálculos mostram que o Sol deve brilhar por cerca de 10 bilhões de anos, desde seu nascimento.

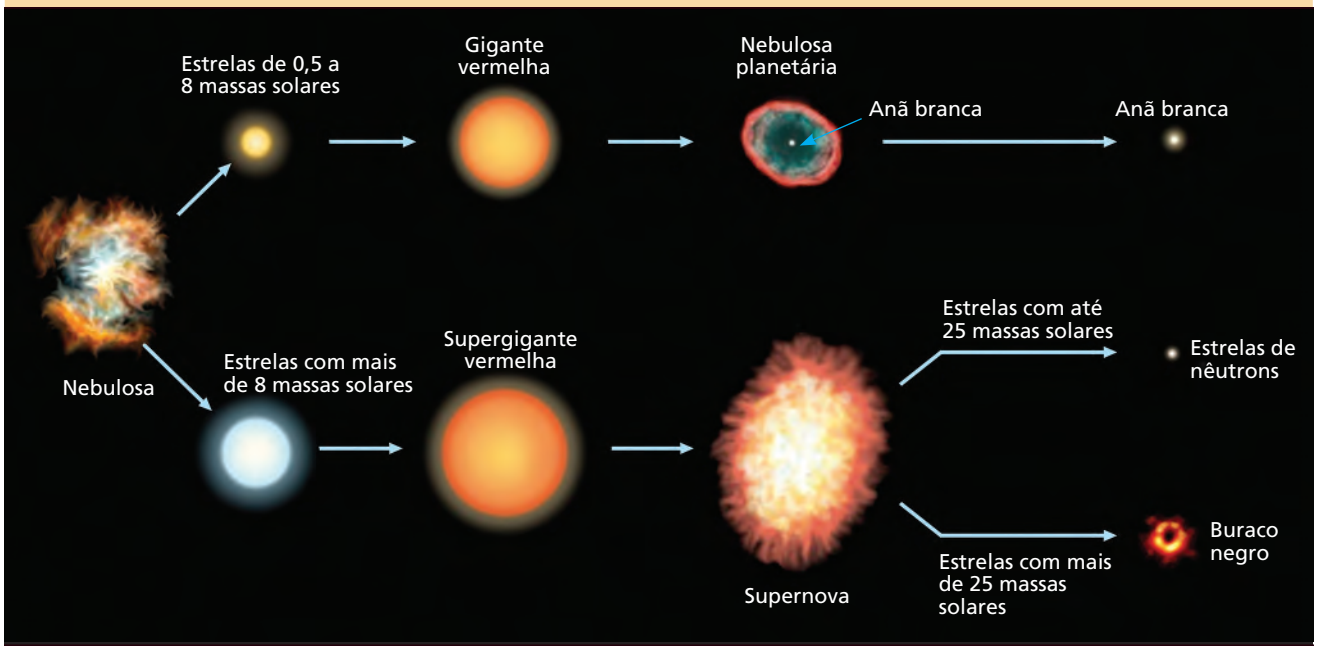
Evolução e morte das estrelas

As estrelas são corpos gigantescos que emitem luz por serem constituídos por matéria superaquecida. A luz de algumas estrelas demora tanto tempo para chegar à Terra que algumas delas nem existem mais quando as observamos. Mas por que uma estrela deixaria de existir?

O fim de cada estrela vai depender de sua massa inicial. Quanto maior a massa da estrela, mais rapidamente ocorrerão as reações termonucleares, reduzindo seu tempo de vida. Quanto menor a massa da estrela, mais tempo ela viverá. A figura mostra diferentes estágios da evolução das estrelas. É importante lembrar que estamos usando os termos "nascer", "viver" e "morrer" apenas como analogia, uma vez que as estrelas são entidades abióticas, ou seja, não são consideradas seres vivos biologicamente.

PAULO MANZI/ARQUIVO DA EDITORA

Estágios de evolução das estrelas



Fonte: elaborado com base em HESTER, J. *et al*. **21st century Astronomy**. 3. ed. Nova Iorque: W. W. Norton & Company, 2010.

Representação esquemática dos estágios evolutivos de estrelas de massas diferentes. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

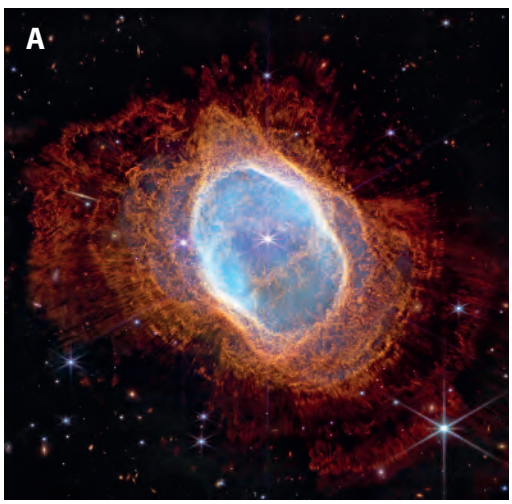
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estrelas que iniciam sua vida com 0,5 a 8 massas solares convertem hidrogênio em hélio durante cerca de 10 bilhões de anos.

Quando essa queima se encerra, ela não fica mais em equilíbrio, e a gravidade faz com que seu núcleo comece a se contrair. Em uma camada fina ao redor do núcleo, o hidrogênio continua se fundindo em hélio. A súbita contração do núcleo aquece as camadas exteriores a ele, fazendo com que elas se expandam. Como a estrela fica maior em tamanho, sua temperatura superficial diminui e ela se torna vermelha. Nessa fase, dizemos que a estrela é uma **gigante vermelha**. Quando o Sol se tornar uma gigante vermelha, ele atingirá as órbitas de Mercúrio e Vênus, e a radiação solar na Terra será tão intensa que a temperatura atingirá cerca de 700 °C, vaporizando os oceanos, talvez até mesmo a Terra, e extinguindo qualquer tipo de vida que poderá ainda existir no planeta. Mas isso só acontecerá daqui a bilhões de anos.

O núcleo da gigante vermelha fica cada vez mais quente até atingir uma temperatura da ordem de 100.000.000 °C e começa a converter hélio em carbono. Quando a queima do hélio se encerra, a estrela perde novamente o equilíbrio, mas dessa vez de modo irreversível. O núcleo volta a se contrair e as camadas externas voltam a se expandir, mas a temperatura no centro não atinge o valor necessário para fundir o carbono.

Essas instabilidades expulsam as camadas exteriores da estrela, restando apenas o núcleo compacto de carbono, chamado **anã branca**, e uma estrutura gasosa, que se parece com uma nuvem, ao seu redor. Essa estrutura gasosa ao redor da anã branca é chamada de **nebulosa planetária**. Somente depois de alguns milhares de anos, os gases se dispersam no espaço interestelar, restando apenas a anã branca.



ESA/CSA/NASA

EQUIPE DO PATRIMÔNIO DO HUBBLE/STSCI/AURA/NASA

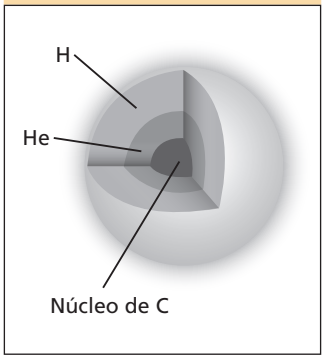
(A) Nebulosa planetária NGC 3132, localizada a aproximadamente 2.000 anos-luz da Terra. Imagem capturada pelo telescópio espacial James Webb (2022). **(B)** NGC 6751, nebulosa planetária localizada a aproximadamente 6.500 anos-luz da Terra. Imagem capturada pelo telescópio espacial Hubble em 1998. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As estrelas que iniciam sua vida com mais de 8 massas solares evoluem de modo bem mais rápido. Uma estrela de 30 massas solares, por exemplo, passa 5 milhões de anos na fase estável de conversão de hidrogênio em hélio.

Essas estrelas também passam por diversos processos de contração e expansão, inclusive pela fase de **supergigante vermelha**, que é similar à fase da gigante vermelha, mas conseguem realizar a fusão de elementos químicos até o ferro.

Depois do ferro, a estrela não consegue mais fundir nenhum elemento. Dessa forma, não existe nada que equilibre a gravidade. A estrela entra em colapso e explode, virando uma **supernova**. A energia liberada nessa explosão é tão grande que o brilho pode ser maior que o de uma galáxia inteira com 200 bilhões de estrelas. É nessa explosão que os outros elementos da tabela periódica depois do ferro são formados.

Estrutura de uma estrela de 5 massas solares no estágio final de evolução

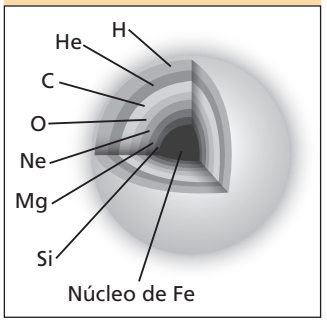


LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em KARTTUNEN, H. *et al*. **Fundamental Astronomy**. 5. ed. Berlim: Springer, 2007.

Representação esquemática das camadas com distintas composições químicas no interior de estrelas de baixa massa. As camadas representam as regiões em que ocorre a fusão de diferentes núcleos atômicos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Estrutura de uma estrela de 30 massas solares no estágio final de evolução



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

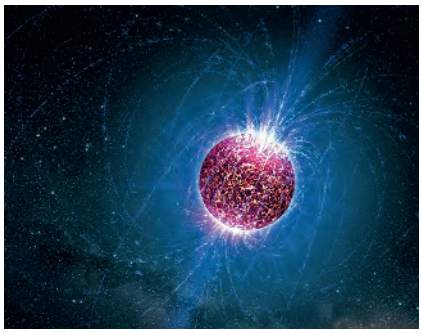
Fonte: elaborado com base em KARTTUNEN, H. *et al*. **Fundamental Astronomy**. 5. ed. Berlim: Springer, 2007.

Representação esquemática das camadas com distintas composições químicas no interior de estrelas massivas. As camadas representam as regiões em que ocorre a fusão de diferentes núcleos atômicos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ESA/CSA/STSCI/T. TEMIM/PRINCETON UNIVERSITY/NASA

Remanescente de supernova conhecido como nebulosa do Caranguejo. A imagem foi obtida pelo telescópio espacial James Webb em 2023, na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético. As diferentes cores representam distintas composições químicas da nebulosa. (Cores-fantasia.)



CASEY REED/UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PENSILVÂNIA

Representação artística de uma estrela de nêutrons. (Cores-fantasia.)

Fonte: POSSIBLE closest neutron star to Earth found. Pennsylvania State University, University Park, Pensilvânia, 19 ago. 2007. Disponível em: https://science.psu.edu/news/possible-closest-neutron-star-earth-found. Acesso em: 20 abr. 2024.

Os mecanismos físicos que geram uma explosão dessa magnitude ainda estão sendo estudados por simulações em supercomputadores e por observações astronômicas, que indicam estarem relacionados à intensa produção de partículas subatômicas no colapso gravitacional, os neutrinos.

Em estrelas de até aproximadamente 25 massas solares, o que resta é uma **estrela de nêutrons**. Elas são extremamente compactas, com raios da ordem de 10 km, e densas e combinam os prótons e os elétrons para produzir os nêutrons.

Em estrelas com mais de 25 massas solares, o que resta é um **buraco negro**.

Buracos negros

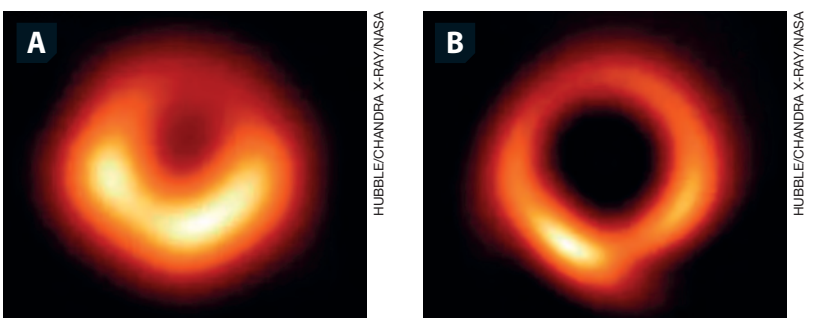
Buracos negros são corpos celestes que concentram uma massa muito grande em um espaço tão pequeno que é considerado adimensional. Imagine, por exemplo, toda a massa do Sol concentrada na ponta de um alfinete. A densidade de um buraco negro é infinitamente maior.

OBJETO DIGITAL *Podcast*: **Buracos negros, segundo Carl Sagan**

Para ter uma ideia do efeito de um buraco negro, vamos retomar a analogia da superfície elástica. Por ter uma concentração tão grande de massa, nessa analogia, ele seria comparado a um objeto que fura a malha da superfície elástica, de modo que tudo que se desloca para esse furo não pode mais voltar para o lugar em que estava. Ou seja, tudo o que entra na área de ação de um buraco negro não tem chance alguma de sair, e isso inclui até mesmo a radiação eletromagnética, como a luz. No interior de um buraco negro, é como se o tempo não existisse. Toda radiação que se aproxima é absorvida, e o buraco negro não emite nem reflete a luz, de modo que ele não pode ser observado diretamente, o que justifica a denominação buraco negro. Os cientistas estudam esses corpos celestes observando como eles afetam sua vizinhança.

Buracos negros são formados após a morte de estrelas massivas. Embora toda a sua massa esteja estritamente concentrada em uma região muito pequena – uma singularidade –, os buracos negros apresentam o chamado **horizonte de eventos**, uma região no espaço na qual a gravidade é tão intensa que até a luz fica presa ali dentro. O horizonte de eventos varia com a massa do buraco negro. Um buraco negro que tivesse a massa do Sol, por exemplo, teria um horizonte de eventos do tamanho aproximado do diâmetro da Terra, cerca de 12.756 km (no equador terrestre).

Em 10 de abril de 2019, foi publicada a primeira fotografia do horizonte de eventos de um buraco negro, obtida por uma rede mundial de telescópios – o projeto Event Horizon Telescope, da National Science Foundation, agência do governo dos Estados Unidos (figura A).



HUBBLE/CHANDRA X-RAY/NASA

HUBBLE/CHANDRA X-RAY/NASA

(A) Imagem da vizinhança do buraco negro no centro da galáxia M87 obtida pelo Event Horizon Telescope em 2019 e **(B)** reconstruída digitalmente com o algoritmo PRIMO em 2023. (Cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A imagem identifica a presença de um buraco negro no centro da galáxia Messier 87 (M87), localizada a aproximadamente 55 milhões de anos-luz da Terra. A região escura no meio das fotografias evidencia a presença do buraco negro, e a região alaranjada ao seu redor delimita o horizonte de eventos, a partir de onde são observadas radiações emergentes. Estima-se que a massa desse buraco negro seja 5,4 bilhões de vezes a do Sol.

Em abril de 2023, uma equipe liderada pela cientista brasileira Lia Medeiros, utilizando um algoritmo para a reconstrução de imagem, chamado PRIMO, e inteligência artificial, obteve uma fotografia bem mais nítida do mesmo buraco negro (figura B), cujos detalhes permitirão aos astrofísicos análises ainda mais detalhadas desse corpo celeste.

DAN KOMODA/INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS

Lia Medeiros é uma astrofísica brasileira radicada nos Estados Unidos e doutora em Física pela Universidade da Califórnia (2023).

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre — Registre em seu caderno

1. Qual é a fonte de energia das estrelas?
2. Descreva de forma resumida o processo de evolução das estrelas.
3. Em sentido não biológico, todas as estrelas – incluindo o Sol, em torno do qual orbita a Terra – nascem, modificam-se com o decorrer do tempo e morrem. Considerando as principais etapas de evolução das estrelas, como os cientistas esperam que ocorrerá a morte do Sol?

2. O processo depende da massa da estrela, que passa por diferentes processos.

3. Espera-se que a configuração final do Sol seja uma nebulosa planetária.

1. A principal fonte de energia das estrelas é a fusão nuclear de elementos químicos leves em elementos químicos mais pesados.

Sistema Solar

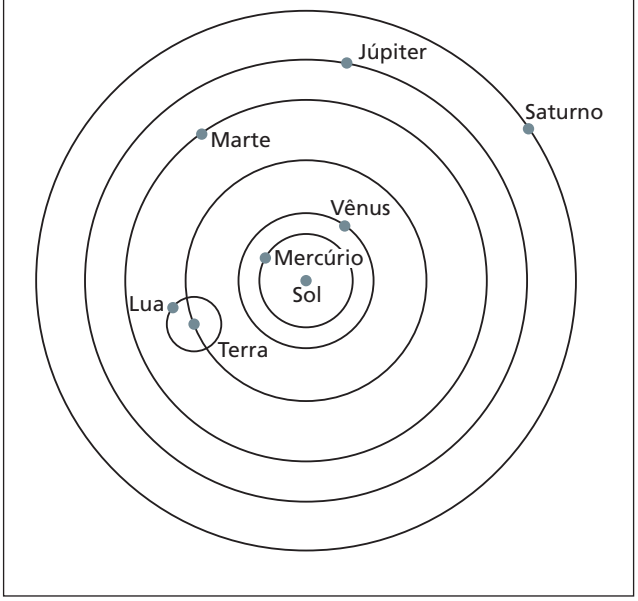
Modelos geocêntrico e heliocêntrico

Todo o nosso conhecimento sobre o Sistema Solar e as estruturas do Universo não é novo. Ele foi desenvolvido por diferentes povos, de diversas culturas, durante um longo período da história humana. Envolveu desde observações a olho nu até observações com telescópios, realizadas a partir do século XVII, chegando à fotografia, e medidas diretas feitas por sondas espaciais em missões iniciadas no século XX.

Um astrônomo e teólogo alemão, crucial no desenvolvimento do conhecimento atual sobre o Sistema Solar, foi Johannes Kepler (1571-1630). Ele desenvolveu um modelo que considerava as órbitas dos planetas elípticas, e não circulares como se pensava. Com base em seus estudos, Kepler enunciou três leis do movimento planetário para explicar o movimento dos planetas em torno do Sol. O modelo de Sistema Solar considerado por ele em seus estudos é o **modelo heliocêntrico**, chamado assim por apresentar o Sol no centro do sistema com os planetas girando ao seu redor.

Porém, Kepler não foi o primeiro a considerar um modelo heliocêntrico. Houve, antes dele, o trabalho de um cônego, médico e astrônomo polonês chamado Nicolau Copérnico (1473-1543). Em um manuscrito de 1503, Copérnico retomou as ideias do matemático e astrônomo grego Aristarco de Samos (310 a.C.- 230 a.C.) sobre o modelo heliocêntrico. Com base em suas observações, Aristarco afirmava que a Terra e os planetas giravam em torno do Sol, contrapondo-se ao **modelo geocêntrico**, que situava a Terra no centro no Universo. A proposta geocêntrica foi desenvolvida por diversos pensadores da Antiguidade, como Aristóteles, Ptolomeu e vários outros, que procuravam descrever um modelo que explicasse a organização dos corpos celestes de acordo com a filosofia, a cultura, a religião e o contexto sociopolítico da época.

Modelo heliocêntrico



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em COPERNICI, N. **De revolutionibus orbium coelestium**. Nuremberg: *Apud* Ioh. Petreium, 1543.

Representação esquemática do sistema planetário heliocêntrico segundo Copérnico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Copérnico reuniu sua obra em seis volumes e a chamou de *Sobre as revoluções dos corpos celestes*. Seus escritos influenciaram outros estudiosos da mecânica celeste, como Kepler e o italiano Galileu Galilei (1564-1642).

Galileu, por defender o heliocentrismo, foi condenado à prisão domiciliar perpétua no século XVII. Isso ocorreu porque, na época, a Igreja Católica impunha muitos de seus interesses e credos. Seus tribunais de inquisição condenaram diversos estudiosos que se contrapunham aos dogmas religiosos da época. Também o filósofo Giordano Bruno (1548-1600) foi condenado à morte na fogueira. Ele contribuiu para expandir o heliocentrismo copernicano, assumindo que as estrelas eram como o Sol, mas muito distantes, e que existiriam outros mundos como a Terra.

Ao longo da história, diversos astrônomos, matemáticos, físicos e outros estudiosos contribuíram para a construção de conhecimentos sobre o Sistema Solar, a Via Láctea e outras galáxias, ampliando e aprofundando os estudos sobre o Universo.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. **Registre em seu caderno**

EM FOCO Diferentes olhares para o Cosmo

A observação e o registro dos fenômenos da natureza como meio de compreender suas dinâmicas e antecipar padrões cíclicos e repetitivos têm sido atividades comuns de diversas sociedades humanas, contemporâneas ou não, desde os primórdios da humanidade. A interpretação desses fenômenos está intrinsecamente ligada ao ponto de vista do observador, ou seja, ao seu referencial. Esse referencial não se restringe apenas à localização geográfica do observador, mas também abrange elementos históricos, sociais e culturais que moldam sua percepção da realidade. Diferentes grupos sociais têm variadas formas de ver e interpretar o mundo, conhecidas como cosmovisões, que se relacionam com seu modo de pensar e seus valores.

As observações dos fenômenos celestes e suas interpretações são profundamente influenciadas por esses fatores. Essas concepções vêm sendo transmitidas de geração em geração, ao longo do tempo e do espaço. Embora vários povos tenham enriquecido seus conhecimentos com base em sua própria cultura, são predominantes atualmente no Brasil e em outros países da América Latina e do ocidente os elementos culturais europeus que foram impostos durante o período colonial, estabelecendo uma hegemonia cultural.

Entretanto, antes mesmo do desenvolvimento de tecnologias para a observação do céu, como os telescópios, diversos grupos indígenas, por exemplo, já buscavam compreender a passagem do tempo e alguns fenômenos da natureza que influenciavam diretamente suas atividades cotidianas, como a caça, a coleta de itens disponíveis no ambiente e o cultivo de produtos agrícolas. A concepção do Cosmo é construída com base na observação dos astros e da relação entre os fenômenos naturais e a vida na Terra e é representada de acordo com as tradições culturais de um povo, contribuindo para a construção de sua cosmovisão.

Os indígenas de etnia Mebêngôkre (Kayapó), por exemplo, que habitam uma região entre os estados do Mato Grosso e do Pará, concebem sua área de residência como o centro do espaço social, que representa o centro do Cosmo, em uma estrutura circular, articulada aos ritmos cíclicos da natureza. Eles compreendem o planeta Terra como um ser vivo e os humanos são um dos elementos que integram esse ser único.

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

Aldeia Kayapó Pykararakre (São Félix do Xingu, PA, 2016). Em torno de uma grande praça descampada são construídas as casas.

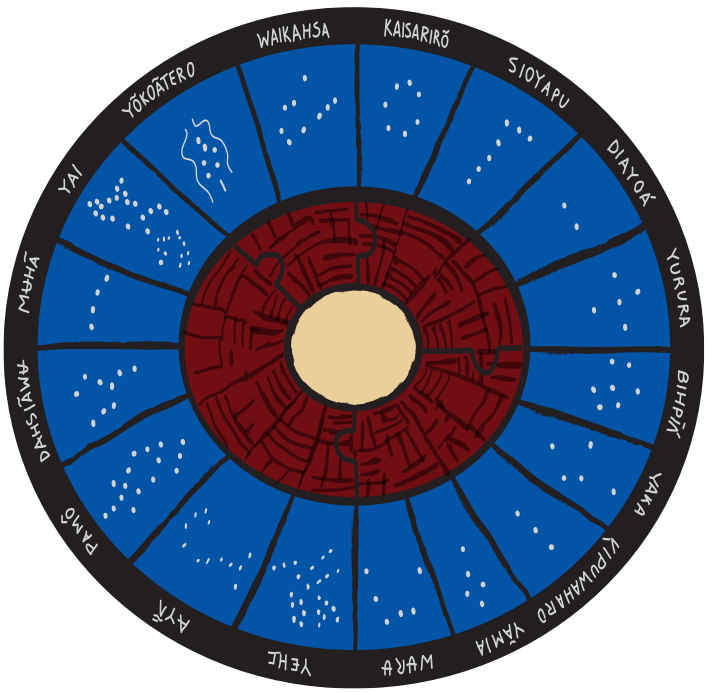
Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

A cosmovisão dos Ye'pâ-masa (Tukano), povo indígena que habita regiões do Brasil, da Colômbia e da Venezuela, é expressa na representação do céu noturno e de sua relação com a terra. Com base nas observações das Yõkoãpa – constelações –, por exemplo, as tarefas cotidianas e comunais são realizadas. Elas também identificam a alternância entre a estação chuvosa e a estiagem, e a ocorrência de diferentes animais ao longo do ano.

O estudo dos saberes de diferentes grupos sociais relacionados à Astronomia é chamado Etnoastronomia, quando trata de grupos que ainda vivem, e conhecido como Arqueoastronomia, quando o objeto de estudo são grupos que não existem mais. Nesses campos de investigação, astrônomos e arqueólogos recorrem aos registros desses saberes como fonte crucial para entender visões de mundo e diferentes formas de representação desenvolvidas por grupos das mais variadas culturas, incluindo civilizações do passado. No Brasil, esse campo de estudo é particularmente rico devido à presença contínua de diversas etnias indígenas cujas tradições relacionadas à observação do céu persistem até os dias atuais.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em MAIA-AHKUTO, G. S. *et al*. **Yokoãpa ma'a (trajetória das constelações)**. Rio de Janeiro: Futura, 2023. Disponível em: https://futura.frm.org.br/conteudo/midias-educativas/material-pedagogico/yokopamaa-trajetoria-das-constelacoes. Acesso em: 17 maio 2024.

Representação das constelações (Yõkoãpa) relacionadas à cosmopercepção do povo Ye'pâ-masa (Tukano).

1. De acordo com o texto, quais referenciais podem influenciar a visão de mundo de uma pessoa?
2. Como a observação dos fenômenos celestes se relaciona com a organização das atividades cotidianas de diferentes povos?
3. Com base no texto, podemos afirmar que a concepção do Cosmo dos Mebêngôkre (Kayapó) dialoga de alguma forma com o modelo geocêntrico ou com o modelo heliocêntrico? Explique.
4. De que forma a valorização de diferentes tradições culturais contribui para uma compreensão mais ampla do mundo em que vivemos e para a preservação dos conhecimentos desenvolvidos pelos povos tradicionais? Analise o papel da Etnoastronomia e da Arqueoastronomia nesse contexto.

1. Localização geográfica, elementos históricos, sociais, culturais, entre outros.
2. Os fenômenos celestes contribuem para a percepção da passagem do tempo e da sazonalidade, que influenciam a organização das atividades cotidianas.
3. Modelo geocêntrico. A área de residência representa o centro do Cosmo.
4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem a Etnoastronomia e a Arqueoastronomia como formas de acessar saberes de diferentes culturas e de ampliar visões de mundo.

Fique por dentro

Ayakamaé

BARRETO, G. **Ayakamaé**. DeltaGio. Versão 2.0.

O aplicativo disponível para *smartphones* e *tablets*, desenvolvido por um estudante de graduação em Física, vincula os saberes de povos indígenas à Astronomia, apresentando atividades que estimulam outro olhar para a Ciência. Com ele, é possível conhecer um pouco mais do céu noturno de acordo com os saberes dos povos Tembé-Tenetehara, Tukano, Tupi-Guarani e Tupinambá.

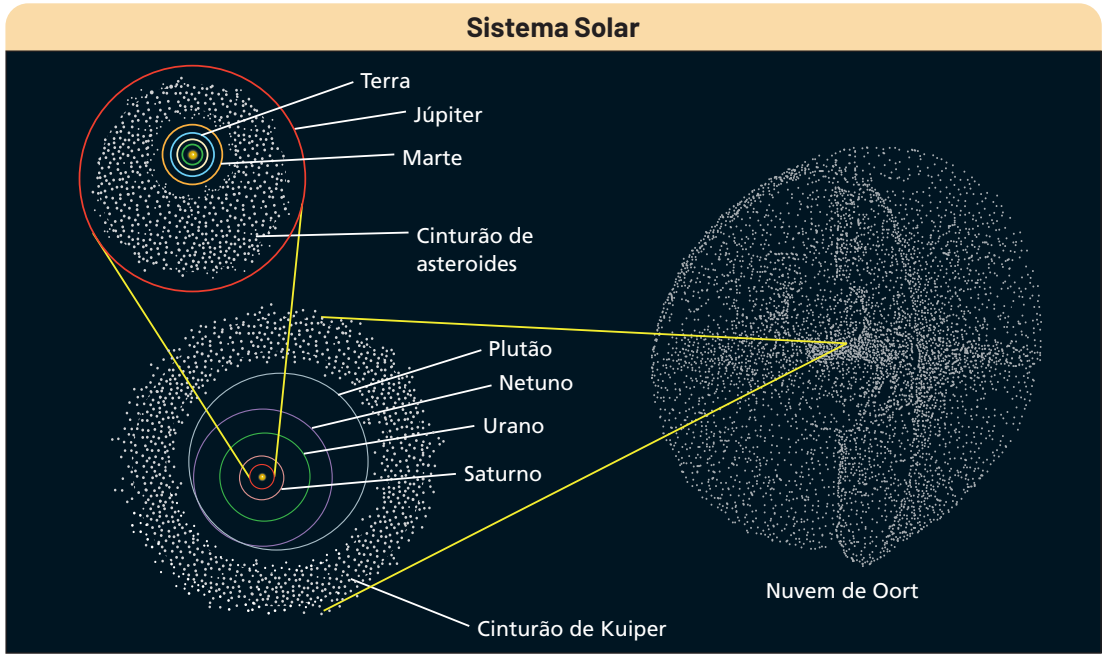
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Características do Sistema Solar

Hoje, sabemos que o Sistema Solar é composto de uma estrela central, o Sol, ao redor do qual orbitam oito planetas e outros corpos, como planetas-anões, satélites, asteroides e cometas. Se considerarmos as massas de todos os elementos do Sistema Solar, o Sol representa 99,87% da massa total.

A representação a seguir mostra a disposição dos principais elementos do Sistema Solar.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em KARTTUNEN, H. *et al*. **Fundamental Astronomy**. 5. ed. Berlim: Springer, 2007.

Representação esquemática de elementos e órbitas do Sistema Solar. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em 2012, a União Astronômica Internacional (IAU) definiu 1 ua como 149.597.870.700 m.

Quando tratamos de distâncias entre planetas e entre outros elementos do Sistema Solar, costumamos adotar uma unidade de medida diferente do quilômetro, que é a **unidade astronômica** (**ua**). Ela equivale aproximadamente à distância entre a Terra e o Sol, ou seja: 1 ua $\simeq$ 150.000.000 km.

Para tratar das medições em aplicações do dia a dia, muitas das unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI) – como o metro, o segundo e o quilograma – são suficientes, mas para estudar o Universo precisamos de unidades de medida mais adequadas às grandes distâncias e às massas envolvidas. A unidade astronômica, por exemplo, é muito usada para medir as distâncias entre os planetas do Sistema Solar. Para medir distâncias além do Sistema Solar, são utilizadas unidades de medida como o ano-luz ou o parsec.

Na parte mais interna do Sistema Solar, num raio de aproximadamente 4 ua, estão os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, além de um cinturão de asteroides, que são corpos rochosos menores de diversos tamanhos e formas. Esses planetas mais internos são rochosos, menores e de baixa massa se comparados aos planetas mais externos. São compostos principalmente de elementos químicos refratários, que não se fundem ou evaporam facilmente, e podem ou não ter satélites naturais. Mercúrio e Vênus não têm satélites naturais; a Terra tem apenas um, a Lua; e Marte tem dois, Phobos e Deimos.

Na região mais externa do Sistema Solar, entre 5 ua e 30 ua, estão os planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, nessa ordem, com suas dezenas de satélites naturais. Esses planetas externos são gasosos, ou seja, não têm uma superfície sólida, e são compostos principalmente de hidrogênio e de hélio, mas têm um núcleo sólido, possivelmente metálico. Por esse motivo, eles são menos densos que os internos, mesmo apresentando massas maiores. A densidade média do planeta Saturno, por exemplo, é de aproximadamente 0,7 g/cm^3. Esse valor está abaixo da densidade da água líquida, que é de 1 g/cm^3. Isso quer dizer que, se fosse possível colocar Saturno em uma bacia gigante com água, ele flutuaria.

Além da órbita de Netuno, entre 30 ua e 50 ua, existe um cinturão formado por corpos menores, chamado de cinturão de Kuiper. Ele é maior que o cinturão de asteroides entre Marte e Júpiter e é composto de milhões de corpos formados de rochas, gelo e gases congelados. É nele que está localizado o planeta-anão Plutão. Nesse cinturão, já foram detectadas dezenas de planetas-anões semelhantes a Plutão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Indo mais além, entre 30.000 ua e 100.000 ua, há uma região preenchida por um gigantesco reservatório de cometas que levam de centenas a milhares de anos para completar sua órbita em torno do Sol. Essa região é chamada de nuvem de Oort.

Observe as imagens do Sol e dos planetas que formam o Sistema Solar, obtidas por telescópios espaciais.

SOL: SDO/NASA MERCÚRIO: STOCKTREK IMAGES/GETTY IMAGES; VÊNUS: JET PROPULSION LABORATORY-CALTECH/NASA; TERRA: NASA; MARTE: JPL-CALTECH /NASA; JÚPITER: UNIVERSITY OF ARIZONA/JPL/NASA; SATURNO: SPACE SCIENCE INSTITUTE/JPL-CALTECH/NASA; URANO: LAWRENCE SROMOVSKY/UNIVERSIDADE WISCONSIN-MADISON/OBSERVATÓRIO W.W. KECK; NETUNO: JPL/NASA

O Sol e os planetas do Sistema Solar. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

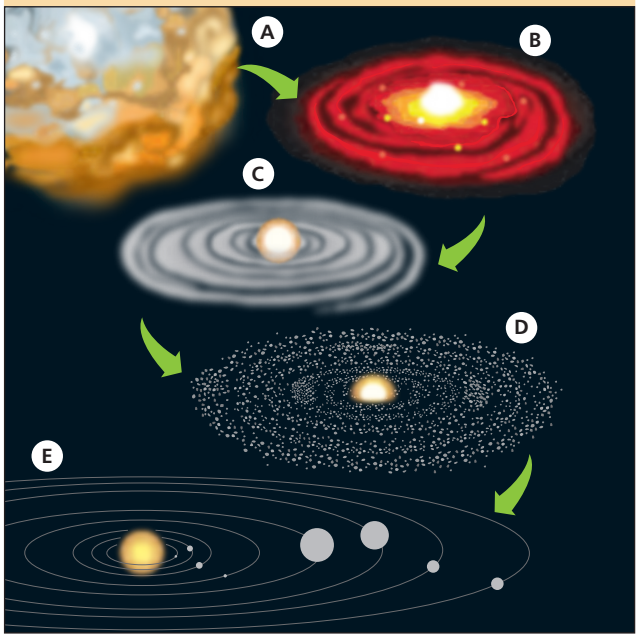
Formação do Sistema Solar

Diversos cientistas desenvolveram hipóteses para explicar a formação do Sistema Solar. A hipótese mais aceita atualmente é a da **nebulosa solar primitiva** (**NSP**), proposta, inicialmente, pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) em 1755 e desenvolvida pelo matemático francês Pierre-Simon Laplace (1749-1827) em 1796.

Essa hipótese pressupõe que o Sistema Solar foi formado, como um todo, a partir de uma nuvem interestelar de gás e poeira há 4,6 bilhões de anos, sendo os planetas e os demais corpos o que restou da formação do Sol. Esse processo teria durado milhões de anos.

Fonte: elaborado com base em FRAKNOI, A. *et al*. **Astronomy**. 2. ed. Houston: OpenStax, 2022.

Formação do Sistema Solar



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da hipótese da nebulosa solar primitiva. **(A)** Contração. **(B)** Formação do protossol. **(C)** Formação de um disco de gás e poeira. **(D)** Acreção. **(E)** Formação dos planetas do Sistema Solar. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nessa nuvem, atuaram duas forças em contraposição: a força da gravidade, que fez com que ela se contraísse (A), e a força devida à pressão do gás, que fez com que ela se expandisse. Quando essas duas forças entravam em equilíbrio, a nuvem se estabilizava e nada acontecia. Entretanto, a nuvem passava a se contrair se o equilíbrio fosse rompido por algum agente externo – por exemplo, a explosão de uma supernova. Com a contração, o acúmulo de matéria passou a atrair cada vez mais o material ao redor, aumentando ainda mais a intensidade da interação gravitacional e a contração.

Com o tempo, a pressão e a temperatura na região central da nuvem começaram a aumentar de tal maneira que ela passou a brilhar e a formar o embrião do Sol, que chamamos de **protossol** (B).

A velocidade de rotação da nuvem aumentou à medida que seu tamanho diminuiu, dando origem a um disco de gás e poeira (C) que se estendeu em volta do protossol. Nesse disco, iniciou-se o processo de **acreção** (D), que consiste na colisão de grãos de poeira formando aglomerados de matéria com massas cada vez maiores. Esses foram os embriões dos planetas, os chamados **protoplanetas**.

Com o tempo, tanto o protossol como os protoplanetas limparam seus arredores agregando corpos menores presentes na região, que começou a se assemelhar à forma atual do Sistema Solar (E). Quando o centro do protossol atingiu a temperatura de 15 milhões de graus Celsius, começou o processo de fusão nuclear, em que átomos de hidrogênio se fundiram para formar átomos de hélio. Isso determinou o nascimento do Sol.

A matéria que não colidiu na formação do Sol e dos planetas ficou aglutinada nos asteroides e nos cometas; grande parte dela ficou concentrada no cinturão de Kuiper e na nuvem de Oort.

A hipótese da nebulosa solar primitiva permite explicar várias características do Sistema Solar, como as órbitas dos planetas praticamente no mesmo plano, a rotação dos planetas no mesmo sentido da translação e a formação de dois grupos de planetas (planetas internos rochosos e planetas externos gasosos). Atualmente, diversos outros estudos são realizados para aprimorar esse modelo. No entanto, essa hipótese forma a base para a compreensão não somente do Sistema Solar, mas de outros sistemas planetários.

Zona habitável

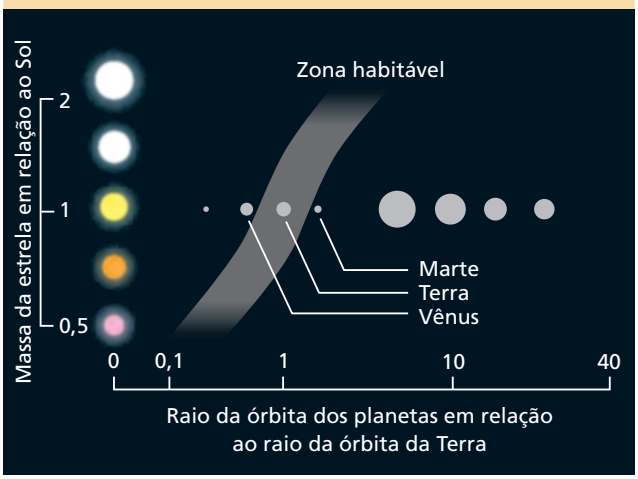
No que se refere à busca de vida no Sistema Solar, o planeta Marte sempre esteve no imaginário popular, e não só em livros e em filmes de ficção científica. Sabemos que há bilhões de anos Marte foi bem parecido com a Terra. Por causa do grande efeito estufa que ele sofria, havia água líquida em sua superfície, o que é fundamental para a vida como a conhecemos. Atualmente, essa situação é bem diferente. Em 2018, cientistas detectaram água líquida 1,5 km abaixo de uma camada de gelo próxima ao polo sul de Marte. Já em 2024 foi detectada água no subsolo de Marte fora das regiões polares. Embora essa água seja altamente salinizada e com intensas concentrações de magnésio, cálcio e sódio, talvez ela possa abrigar vida, como a de microrganismos extremófilos (seres vivos que subsistem em condições extremas).

Um fato que beneficia a procura de vida no Sistema Solar é a proximidade dos planetas e das luas, que nos permite enviar sondas e veículos não tripulados para colher amostras e fazer experimentos. É possível que consigamos pisar em Marte no futuro e realizar pesquisas lá mesmo. Porém, essa situação é completamente diferente em relação aos **exoplanetas**, que são planetas fora do Sistema Solar, ou seja, que constituem sistemas planetários em outras estrelas.

Para aumentar as chances de encontrar vida como a conhecemos fora do Sistema Solar, os cientistas procuram por exoplanetas mais parecidos com a Terra, ou seja, rochosos, de tamanho semelhante e localizados dentro do que ficou estabelecido como **zona habitável** ou **zona de habitabilidade** – uma região do espaço, ao redor da estrela de um sistema planetário, onde pode haver um planeta cuja temperatura possibilite a existência de água líquida em sua superfície. Se o planeta estiver muito perto da estrela, a temperatura será muito alta e a água estará em forma de vapor. Se o planeta estiver muito distante da estrela, a temperatura será muito baixa e a água estará congelada. A Terra é o único planeta dentro da zona habitável do Sistema Solar. Futuramente, quando o Sol se tornar uma gigante vermelha, a zona habitável pode se deslocar para regiões mais afastadas do Sol.

O tamanho da Terra também é importante para a habitabilidade, pois, se ela fosse menor, não teria o campo gravitacional intenso o suficiente para reter os gases atmosféricos. E, se fosse maior, teria um campo gravitacional intenso demais, criando uma atmosfera muito densa, o que reduziria a incidência da luz solar na superfície.

Zona habitável



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em KONESKY, G. Potential photosynthetic systems in extraterrestrial habitable zones. **Proceedings of SPIE**, v. 7097, Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology XI, 70970I, 28 ago. 2008.

Zona habitável do Sistema Solar. Atualmente, apenas a Terra se encontra dentro dela. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Vida na Terra

A vida na Terra depende de compostos de carbono, o que só é possível dentro dos limites de variação de temperatura que ocorrem no planeta.

De acordo com a Nasa, a agência do governo federal dos Estados Unidos responsável por programas de exploração espacial, vida como a conhecemos, baseada em carbono e água, talvez possa ser encontrada em Marte e em Europa, uma das luas de Júpiter. Ambos estão fora da zona habitável, mas a presença de água líquida abaixo de camadas de gelo nesses dois corpos celestes foi comprovada. O gelo protege a água líquida da evaporação.

Em Marte, o gelo se forma em um dos polos e, além disso, há vales que indicam a possibilidade de ter existido água no passado.

No caso da lua Europa, o satélite todo é recoberto por uma espessa camada de gelo. Água líquida em grandes quantidades, possivelmente formando um enorme oceano sob o gelo, foi detectada. Nesse caso, a água se mantém líquida, mesmo nessa região mais distante do Sol, graças à interação gravitacional entre Júpiter e Europa. Essa interação causa um efeito semelhante à interação entre a Terra e a Lua, que dá origem às marés na Terra. Entretanto, no caso de Júpiter, a interação promove forças de maré muito maiores e intensas, deformando as próprias rochas e o núcleo, com liberação de calor do interior do satélite natural Europa.

Todos esses dados levam os cientistas a pensarem na possibilidade de existir vida em outros locais fora do Sistema Solar.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. O que difere essencialmente o modelo geocêntrico do modelo heliocêntrico para o Sistema Solar?

4. No modelo geocêntrico, a Terra está no centro do Sistema Solar; no heliocêntrico, o Sol está no centro.

5. Descreva, de forma resumida, o processo de formação do Sistema Solar.

6. O que é zona habitável e o que define suas fronteiras?

5. Espera-se que os estudantes reconheçam a hipótese da nebulosa solar primitiva (NSP) como a mais aceita atualmente para explicar a formação do Sistema Solar e que descrevam brevemente esse processo.

6. É uma região do espaço ao redor de uma estrela com condições que possibilitam a existência de água líquida e, potencialmente, da vida como a conhecemos.

Exploração do Sistema Solar

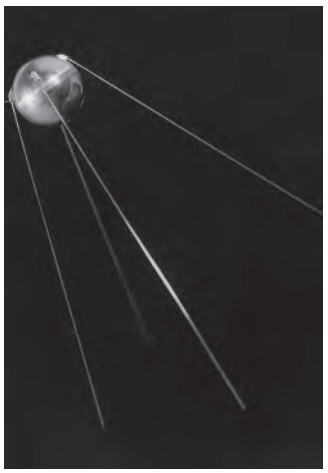
A exploração espacial teve início na Guerra Fria (1945-1991). A tensão entre os Estados Unidos e a antiga União Soviética fez com que não fossem poupados esforços de ambas as partes em uma competição para determinar quem conquistaria o espaço primeiro. Esse foi provavelmente o período em que houve o maior desenvolvimento de tecnologias de exploração espacial no século XX.

Primeiros programas espaciais

A União Soviética foi a primeira nação a conseguir colocar um objeto em órbita ao redor da Terra. O satélite **Sputnik 1** foi lançado em 4 de outubro de 1957 e enviou à Terra dados referentes às camadas mais altas da atmosfera do planeta. Ele orbitou o planeta por três semanas, tempo de duração de suas baterias, e entrou de volta na atmosfera terrestre dois meses depois, desintegrando-se.

Outra grande conquista soviética durante a corrida espacial aconteceu em 12 de abril de 1961. Nessa data, o cosmonauta Yuri Gagarin (1934-1968) tornou-se o primeiro ser humano a sair da atmosfera terrestre e a orbitar o planeta Terra, durante 108 minutos.

Um dos programas espaciais mais famosos dos Estados Unidos, que competiu com a União Soviética durante a corrida espacial, foi o **programa Apollo**. Ele teve início em 1961 e durou 11 anos. Um de seus objetivos finais era levar o ser humano à Lua. Vários profissionais contribuíram para o sucesso das missões do programa Apollo, como a matemática



SOVFOTO/UIG/GETTY IMAGES

Modelo do satélite Sputnik 1, o primeiro satélite artificial a ser colocado em órbita ao redor da Terra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Estrelas além do tempo

ESTRELAS além do tempo. Direção: Theodore Melfi. Estados Unidos: 20th Century Fox, 2016. (127 min).

O filme, baseado em uma história real, conta como o trabalho de três mulheres, as matemáticas Katherine Johnson, Dorothy Vaughan e Mary Jackson, foi importante para o desenvolvimento do programa espacial dos Estados Unidos na década de 1960.

estadunidense Katherine Johnson (1918-2020) (figura A), que desempenhou papel fundamental nos cálculos das trajetórias de ida e volta da Lua, e a cientista da computação, também estadunidense, Margaret Hamilton (1936-) (figura B), que liderou a equipe responsável pelo desenvolvimento do sistema de navegação usado nas missões.

LANGLEY RESEARCH CENTER/NASA

MIT MUSEUM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

(A) Katherine Johnson, matemática responsável pelos cálculos de trajetórias das missões Apollo (1962). **(B)** Margaret Hamilton ao lado de uma pilha de papéis com o código-fonte do *software* de navegação que desenvolvera (1969).

EVERETT HISTORICAL/ SHUTTERSTOCK

Terra vista da superfície da Lua em fotografia captada pela missão Apollo 11, primeira missão tripulada à Lua, em 20 de julho de 1969.

Das missões do programa Apollo, a **missão Apollo 11** foi a primeira a conseguir levar seres humanos até a superfície da Lua: o comandante Neil Armstrong (1930-2012), o comandante Michael Collins (1930-2021) e o piloto Buzz Aldrin (1930-), todos estadunidenses. Eles partiram do Centro Espacial Kennedy, na Flórida (Estados Unidos), em 16 de julho de 1969, e chegaram à Lua quatro dias depois. Enquanto Collins ficou no módulo de comando em órbita lunar, Armstrong e Aldrin desceram até a superfície da Lua no módulo de pouso. Os astronautas permaneceram na superfície lunar por volta de duas horas e coletaram cerca de 21 kg de rochas para estudos na Terra, além de deixarem importantes experimentos científicos na superfície.

Depois da Apollo 11, foram realizadas outras missões Apollo, e um total de 12 astronautas pisaram na superfície lunar.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Viagem espacial com o Scratch

A linguagem de programação visual Scratch se baseia na programação em blocos para a criação de animações, jogos e histórias interativas diversas, de acordo com sua imaginação. Linguagem de programação é uma representação escrita de um conjunto de instruções e regras para gerar um programa, possibilitando a comunicação entre humanos e máquinas por meio de uma série de comandos. Na resolução de problemas utilizando essa ferramenta, aplica-se o **pensamento computacional**, baseado em quatro pilares fundamentais: decomposição, abstração, reconhecimento de padrões e algoritmo.

A **decomposição** consiste em dividir um problema em problemas menores e mais simples, para facilitar sua compreensão e resolução. Com a **abstração**, os dados do problema são analisados e classificados, para que sejam identificadas as informações essenciais para sua solução e descartadas as informações desnecessárias. O **reconhecimento de padrões** consiste em identificar similaridades entre problemas, para que uma mesma estratégia possa ser replicada, agilizando a resolução. A sequência ordenada de passos para realizar uma tarefa ou o conjunto de instruções que leva à solução do problema pode ser representada por **algoritmos**.

Antes da realização da atividade, sugerimos ao professor que assista à videoaula *Primeiros passos com Scratch*, produzida pela Central de Formação e Mídias (Ceformi) da Secretaria Municipal de Educação de Vinhedo. YouTube, 8 maio 2023. 1 vídeo (15 min 3 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=icMVIV9K9-4. Acesso em: 20 abr. 2024.

OBJETIVO

Aplicar o pensamento computacional para simular a viagem de uma nave espacial entre a Terra e a Lua. Utilizando a linguagem de programação visual Scratch, você vai construir uma sequência ordenada de passos para realizar essa tarefa, ou seja, criar um algoritmo.

MATERIAL

Computador, *tablet* ou *smartphone* com acesso à internet.

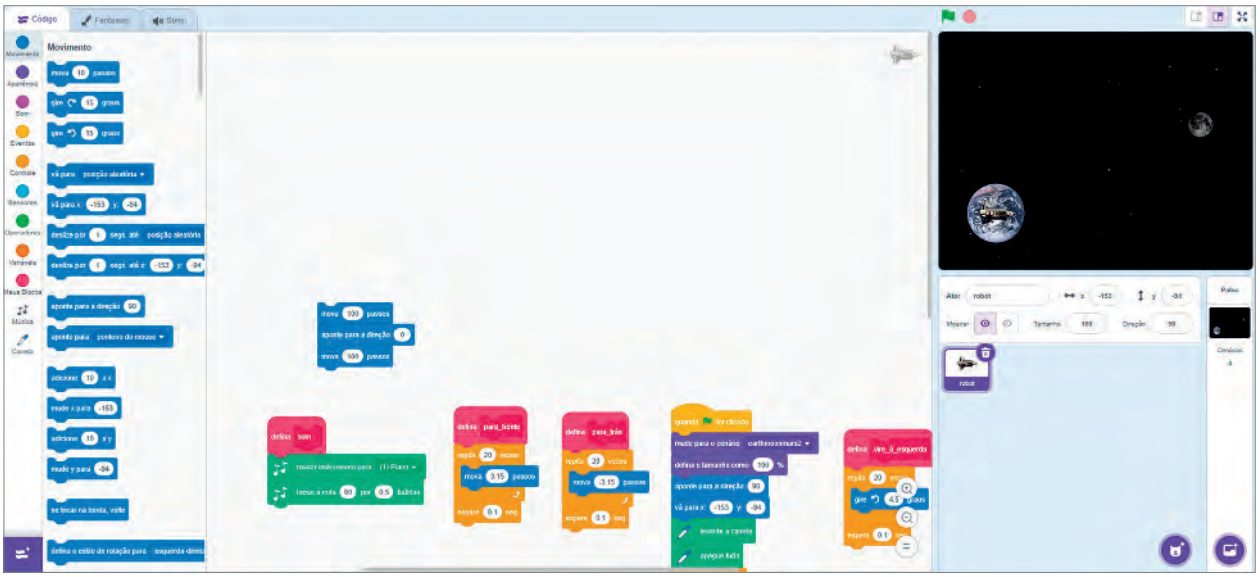
Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

PROCEDIMENTO

Se possível, realize a atividade no Scratch com os estudantes, orientando-os para que, em grupos, reproduzam o procedimento e depois criem seus próprios algoritmos. Se existir apenas um computador disponível, você mesmo pode realizar a atividade na sala de aula, projetando-a para que os estudantes façam suas contribuições e seus questionamentos durante o procedimento. O Scratch pode ser acessado de forma *on-line* e *off-line*, fazendo o *download* do aplicativo para computador, *tablet* ou *smartphone*.

- Para simular a viagem de uma nave espacial entre a Terra e a Lua aplicando o pensamento computacional, um grupo de estudantes acessou o projeto *Simulador espacial* na plataforma Scratch, disponível em: https://scratch.mit.edu/projects/260821220/editor (acesso em: 20 abr. 2024).
- Clicando em "robot" para selecionar a nave, os estudantes registraram as coordenadas *x* e *y* (-153, -94) localizadas ao lado do campo "Ator", do lado direito da tela. Essas coordenadas indicam a posição inicial da nave, que parte do planeta Terra.



REPRODUÇÃO/PLATAFORMA SCRATCH

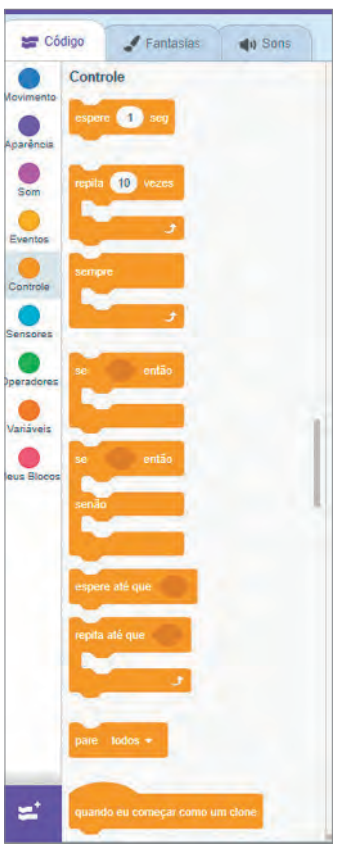
Captura de tela do projeto *Simulador espacial* na plataforma Scratch.

- Para ajustar a inclinação da nave, de forma que ela aponte inicialmente para a Lua, eles selecionaram o ângulo mais adequado no campo "Direção", nesse caso, 65°.
- Posicionando o cursor do *mouse* sobre a nave no cenário, ela foi arrastada até o destino escolhido (Lua). Os estudantes notaram que, ao deslocar a nave, as coordenadas *x* e *y* mudaram (160, 38).
- Então, na área ao lado esquerdo do cenário, utilizando os blocos de comando do Scratch, da aba "Código" (figuras A e B), os estudantes construíram uma sequência ordenada de passos para realizar a tarefa de levar a nave da Terra à Lua.

Considere incentivar os estudantes, em outra etapa, a utilizar blocos de comando de outras categorias e a criar seus próprios blocos de comando. Se a atividade for realizada de modo plugado, no Scratch, novos blocos de comando podem ser criados usando a função "Criar um bloco", disponível em "Meus blocos".

A

B



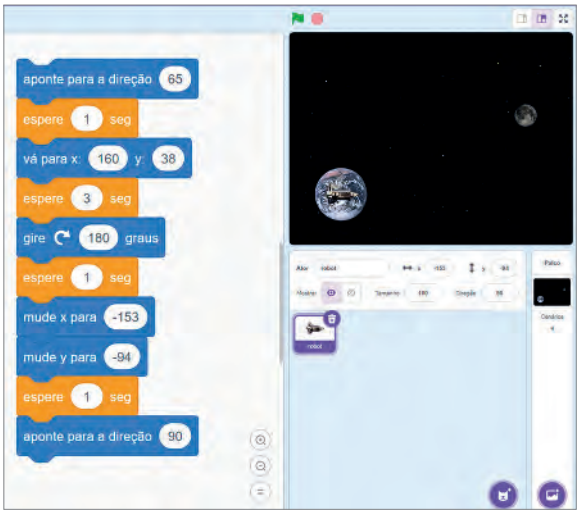
REPRODUÇÃO/PLATAFORMA SCRATCH

Captura de tela do projeto *Simulador espacial* na plataforma Scratch, destacando: **(A)** as categorias disponíveis na aba "Código" e os comandos associados à categoria "Movimento"; **(B)** os comandos associados à categoria "Controle".

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- Esse conjunto de instruções utilizado para programar o cenário e as ações no Scratch, chamado *script*, organizado para realizar a tarefa de mover a nave, constitui um algoritmo. Ao clicar no conjunto de blocos na área de *script*, a nave se move até o destino.
- Em seguida, os estudantes colocaram o planeta Marte no cenário e, seguindo o mesmo procedimento, eles também programaram a viagem da Lua até Marte e o retorno da nave até a Terra.



REPRODUÇÃO/PLATAFORMA SCRATCH

Captura de tela do projeto *Simulador espacial* na plataforma Scratch, destacando o algoritmo criado pelos estudantes para simular a viagem espacial da Terra até a Lua e de volta à Terra.

1. A construção do algoritmo pode ser feita de forma plugada, no Scratch, e/ou desplugada, com a construção do cenário e dos blocos coloridos em cartolina, simulando os blocos de comando do Scratch ou simplesmente escrevendo a sequência de comandos de forma ordenada no caderno. Se os estudantes realizarem a atividade de forma desplugada, é importante que eles sejam instruídos em como verificar se o algoritmo escrito realmente é adequado para realizar a tarefa de levar a nave da Terra à Lua. Uma possibilidade é simular o movimento da nave em um sistema cartesiano de coordenadas sobre uma malha quadriculada, de acordo com os passos escritos no algoritmo.

1. Em grupo com dois colegas, escrevam um algoritmo próprio usando diferentes blocos de comando das categorias "Movimento" e "Controle", disponíveis na lista "Código" do Scratch (figuras A e B), para mover a nave espacial da Terra à Lua e de volta à Terra.
2. Seguindo as instruções do professor, compartilhem o algoritmo criado com os outros grupos. Analisem se os algoritmos construídos por outros grupos para levar a nave da Terra até a Lua e de volta à Terra são exatamente iguais, ou seja, se os passos utilizados para realizar a tarefa são exatamente os mesmos. Diferentes modos de construção de um algoritmo e de representação levam aos mesmos resultados ou a resultados diferentes para a mesma tarefa?
3. Construam dois outros algoritmos próprios, diferentes do escrito na primeira atividade, para realizar a mesma tarefa de mover a nave espacial da Terra à Lua e de volta à Terra.
4. Para programar essa viagem espacial, vocês aplicaram os quatro pilares do pensamento computacional (decomposição, abstração, reconhecimento de padrões e algoritmo). Identifiquem e descrevam as ações relacionadas a cada um dos quatro pilares realizadas durante a tarefa.

ATIVIDADE COMENTADA

Estima-se que o Big Bang tenha ocorrido há 13,8 bilhões de anos e que o Sistema Solar tenha idade de 4,6 bilhões de anos. Comparando-se a idade do Universo à duração de uma semana (7 dias) e associando-se a origem do Universo à zero hora do domingo dessa suposta semana, pergunta-se: em que dia da semana e em que horário teria sido formado o Sistema Solar?

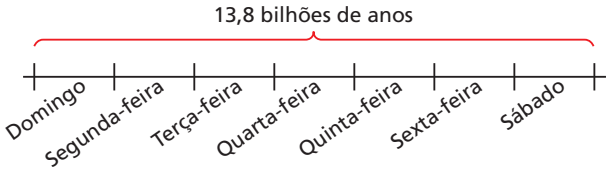
Destaque para os estudantes, ao realizar essa etapa da resolução da atividade, como é aplicado o pilar "decomposição" do pensamento computacional.

Analisar o enunciado

Para facilitar a resolução do problema, vamos fazer sua decomposição, ou seja, vamos analisar o problema como um todo e dividi-lo em partes menores. Por exemplo, primeiro vamos determinar quando o Universo teria se formado na suposta semana e, depois, determinar qual é sua idade na escala de tempo real e na escala de tempo de uma semana.

O Universo teria se formado à zero hora do domingo, exatamente no início da semana. Então, no final da semana de 7 dias, ou seja, às 24 horas do sábado, o Universo teria 7 dias, que corresponderia a 13,8 bilhões de anos.

Construir um esquema para representar as informações apresentadas no enunciado, nesse caso, uma escala de tempo, pode ajudar na resolução do problema.



Escala de tempo representando a situação descrita.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Selecionar as informações relevantes

Para determinar em que dia da semana e em que horário teria sido formado o Sistema Solar, precisamos saber em que dia da semana e em que horário teria sido formado o Universo (zero hora do domingo) e há quanto tempo o Sistema Solar e o Universo se formaram na escala de tempo real (13,8 bilhões de anos e 4,6 bilhões de anos, respectivamente).

Destaque para os estudantes como o pilar "abstração" do pensamento computacional é aplicado nessa etapa da resolução da atividade.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para exercitar o pilar "algoritmo" do pensamento computacional, peça aos estudantes que, em grupos, escrevam um algoritmo para a resolução desse problema. Comente com eles que o algoritmo escrito também poderia ser aplicado para resolver outros problemas semelhantes que envolvam situações análogas.

Continuação

Aplicar o conceito estudado

Note que a escala de tempo real e a escala de tempo de uma semana podem ser relacionadas por uma regra de três simples, uma técnica comumente usada para encontrar uma proporção entre duas grandezas. Então, localizando a formação do Universo na escala de tempo de uma semana, sabendo que sua idade corresponde a 7 dias e conhecendo a idade do Sistema Solar hoje, é possível determinar a idade (I) do Sistema Solar em dias.

13,8 bilhões de anos ——— 7 dias

4,6 bilhões de anos ——— I

Assim:

Mostre aos estudantes como o pilar "reconhecimento de padrões" do pensamento computacional é aplicado nessa etapa da resolução da atividade.

$$I = \frac{7 \cdot 4{,}6}{13{,}8} \therefore I \simeq 2{,}33 \text{ dias ou } I \simeq 2 \text{ dias} + \frac{1}{3} \text{ dia}$$

Se o Sistema Solar se formou há 2,33 dias e hoje é sábado, ele teria sido formado na quinta-feira.

O horário h da quinta-feira em que o Sistema Solar teria sido formado fica determinado pela seguinte quarta proporcional:

1 dia ——— 24 horas

$1 \text{ dia} - \frac{1}{3} \text{ dia} = \frac{2}{3} \text{ dia}$ ——— h

Assim:

$$h = \frac{2 \cdot 24}{3} = \frac{48}{3} \therefore h = 16 \text{ horas}$$

Verificar a solução

Como o Sol se formou bilhões de anos depois do Big Bang e tem aproximadamente um terço da idade do Universo, realmente espera-se que ele tenha sido formado mais próximo do fim da semana. Então, 16 horas da quinta-feira é um resultado coerente.

E se comparássemos a idade do Universo à duração de um ano (365 dias), em que mês e em que dia teria sido formado o Sistema Solar?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exploração do Sistema Solar no século XXI

A Estação Espacial Internacional (*International Space Station*, ISS) começou a ser construída em 1998 com cooperação internacional. Orbitando a Terra, ela é um satélite habitável que, desde o ano 2000, entre várias funções, serve como um importante laboratório para o estudo do comportamento biológico em condições de gravidade zero e sem a proteção da atmosfera e do campo magnético terrestre. Até o momento, o único astronauta brasileiro a tripular a ISS foi o engenheiro Marcos Cesar Pontes, permanecendo oito dias em órbita da Terra, no início de 2006.

NASA

Estação Espacial Internacional orbitando o planeta Terra a uma altura de aproximadamente 400 km da superfície (2018).

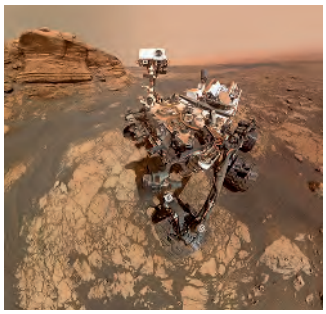
Dando continuidade à exploração espacial para além da órbita da Terra, em 2003 a Nasa enviou a Marte dois veículos não tripulados, que já estão fora de atividade, e mais um em 2012, ainda em atividade, chamado Curiosity. Eles pousaram em diferentes localidades do planeta, com o objetivo principal de estudar o solo marciano, e foram muito bem-sucedidos em determinar a composição das camadas mais superiores da superfície de Marte, detectando inclusive evidências da presença de água.

Em 2016, a Nasa lançou a sonda espacial OSIRIS-REx ao asteroide Bennu, a cerca de 100 milhões de quilômetros da Terra, para coletar amostras de rochas e poeira de sua superfície, retornando à Terra em 2023. Com essas amostras, além de aprimorar o estudo dos asteroides, os cientistas poderão obter mais informações sobre a formação dos planetas e investigar se os asteroides que colidiram com a Terra bilhões de anos atrás trouxeram água e outros componentes importantes para o início da vida no planeta.

Na busca por conhecer melhor o Sistema Solar, uma nave produzida por um consórcio estadunidense-europeu, a Cassini-Huygens, foi lançada rumo a Saturno em 1997, em uma missão que durou cerca de 20 anos e enviou à Terra imagens detalhadas do polo norte do planeta, bem como das luas Titã (onde pousou a sonda Huygens) e Encélado (com ambiente propício à vida).

Contudo, já fomos mais longe, aos confins do Sistema Solar, com as sondas estadunidenses Voyager 1 e Voyager 2, que ultrapassaram a fronteira do Sistema Solar e alcançaram o espaço interestelar depois de passar pelos planetas exteriores Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, em uma missão que já dura mais de 46 anos.

Projetos ainda mais ousados estão em andamento mundo afora. A Nasa cogita novas viagens tripuladas à Lua, além de uma base humana em Marte; os projetos são denominados Artemis e Mars, respectivamente. Atualmente, não são apenas os Estados Unidos que contam com um programa espacial; Rússia, China, Japão e Índia, entre outros países, também estão buscando protagonismo nessa nova era da corrida espacial.



JPL-CALTECH/MSSS/NASA

Autorretrato do veículo robótico Curiosity na superfície do planeta Marte. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fique por dentro

Quais as vantagens de enviar organismos vivos para o espaço?

DESTAQUE do Ciência USP #28: Quais as vantagens de enviar organismos vivos para o espaço? Entrevistado: Amâncio Santos Friaça. Entrevistador: Denis Pacheco. São Paulo: Rádio USP, 19 abr. 2022. *Podcast*. Disponível em: https://jornal.usp.br/podcast/destaque-do-ciencia-usp-28-quais-as-vantagens-de-enviar-organismos-vivos-para-o-espaco/. Acesso em: 20 abr. 2024.

O *podcast* traz uma entrevista com o astrofísico Amâncio Santos Friaça sobre os desafios de viagens interestelares tripuladas e o futuro da exploração espacial.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. **Registre em seu caderno**

TRABALHO E JUVENTUDES

ODS 8

Neste livro, você encontrará indicações dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) quando forem trabalhados temas relacionados a eles. Oriente os estudantes a consultarem as páginas sobre ODS no início do livro.

Empreendedorismo ao alcance de todos

A criação de novas empresas é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de um país, gerando empregos, melhorando a oferta de produtos e serviços e fortalecendo a coesão social. A prática empreendedora abrange desde jovens moradores de diferentes partes do território brasileiro, muitas vezes em busca de um propósito no trabalho, até cientistas e empresários do mundo inteiro, com projetos ousados que buscam transferir o conhecimento científico-tecnológico para o desenvolvimento de novos produtos ou serviços.

Apesar dos diferentes perfis, empreendedores, comumente, buscam com seu negócio gerar impacto na sociedade. Aspectos relacionados ao consumo consciente, valorização de comunidades locais e até mesmo soluções para o dia a dia das pessoas são comuns em negócios empreendedores. As histórias a seguir exemplificam essas ideias.

> [...] "Há jovens que, por exemplo, abrem um brechó porque são ativistas do consumo consciente, outras que trabalham com ações que visam a sustentabilidade ambiental, com a venda de coletores menstruais, e também aqueles que produzem camisetas que valorizam a própria quebrada, com estampas para o jovem da comunidade em que está inserido. [...]"

Fonte: SOUZA, L. Maioria dos jovens empreendedores não recebe apoio do poder público. **Agência Brasil**, São Paulo, 6 jul. 2023. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-07/maioria-dos-jovens-empreendedores-nao-recebe-apoio-do-poder-publico. Acesso em: 20 abr. 2024.

THAIS DUTRA - ACERVO DA ARTISTA

Jovens combinam consumo consciente com criatividade na venda de roupas usadas customizadas em projeto empreendedor no Vidigal, na cidade do Rio de Janeiro.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

[...] instalar *data centers* na Lua para garantir a segurança do processamento e armazenamento dos dados gerados por empresas e governos [esse é o projeto do empresário Chris Stott]. Ele cita os eventos extremos causados pelas mudanças climáticas e os ataques *hackers* como as duas principais ameaças aos dados hoje armazenados nos *data centers* na Terra.

"No ano passado, o rio Reno, na Alemanha, secou e os centros de dados não tinham mais água para sua refrigeração. Todo o sistema de transportes alemão ficou paralisado, ocasionando enormes prejuízos, inclusive de vidas humanas", diz. "Também no ano passado, só na Europa, registraram-se 43 milhões de ataques de *hackers*. [...]. Portanto, tudo está em risco aqui embaixo", afirma.

[...]

Fonte: BRAGADO, L. *Startup* que tem investimento brasileiro quer enviar *data centers* à Lua e prepara 1º teste para novembro. **Época Negócios**, São Paulo, 6 set. 2023. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/tecnologia/noticia/2023/09/startup-que-tem-investimento-brasileiro-quer-enviar-data-centers-a-lua-e-prepara-1o-teste-para-novembro.ghtml. Acesso em: 20 abr. 2024.

Todas as pessoas têm potencial para empreender. Algumas trazem experiências pessoais, no contexto em que estão inseridas, que podem colaborar para o desenvolvimento do empreendedorismo. Porém, qualquer pessoa pode desenvolver características empreendedoras ao longo da vida. Inovação, iniciativa, persistência, comprometimento, objetividade, eficiência, disposição para correr riscos calculados, planejamento, independência e autoconfiança são algumas das características que empreendedores têm em comum.

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes relacionem o papel da formação escolar com a melhoria da capacidade de idealizar novos projetos, implementar novos negócios e aperfeiçoar outros já existentes.

1. Especialistas afirmam que os avanços do empreendedorismo no Brasil estão associados com o crescimento do nível de escolaridade. Em grupo com dois colegas, considerando essa afirmação, discutam o papel da escola na formação de jovens empreendedores.
2. O texto cita um projeto que visa à instalação de *data centers* na Lua. Você conhece outro projeto empreendedor que busca transferir o conhecimento científico-tecnológico para o desenvolvimento de novos produtos ou serviços? Se não conhece, pesquise um projeto com esse objetivo. Descreva-o para a turma.
3. Com base nas questões a seguir, reflita sobre seu comportamento empreendedor.
   a. Quais das características comuns a pessoas empreendedoras você gostaria de desenvolver ou aperfeiçoar e por quê?
   b. Que estratégia(s) você pode utilizar para desenvolvê-las ou fortalecê-las?
4. Comumente, fundadores de *startups* percebem as demandas do mercado e transformam suas ideias em oportunidade de negócio. Agora é sua vez! Considerando sua realidade local, reflita e busque informações sobre que tipo de projeto empreendedor você poderia desenvolver. Os questionamentos a seguir podem ajudar no desenvolvimento e no teste de sua ideia.
   - Quais *insights* ou dados você obteve que favorecem a criação de um serviço ou produto?
   - Como você descreveria esse produto ou serviço?
   - Quem será seu público-alvo? Por que ele precisa do seu produto ou serviço? Em que situação ele o usará?
   - Por que ele escolheria seu produto ou serviço?
   - Como seu serviço ou produto pode ser implementado? Que estratégias você pode adotar para que seus possíveis clientes saibam do seu projeto? Vai precisar de parceiros, de estrutura física ou virtual?
   - Se possível, teste sua ideia. Reúna dois ou três colegas de turma e fale sobre seu produto ou serviço. Peça a eles que, como se fossem clientes, exponham suas necessidades. Com isso, espera-se que você consiga identificar as informações relevantes para melhorar seu produto ou serviço.

Fonte: elaborado com base em ROSA, C. A.; COUTO, G. M.; LAGE, M. G. **Guia essencial para novos empreendedores: ideação**. Belo Horizonte: Sebrae/MG, 2015. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20-%20Idea%c3%a7%c3%a3o.PDF. Acesso em: 21 out. 2024.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes exponham diferentes projetos empreendedores que apliquem conhecimento científico-tecnológico em seus produtos ou serviços.

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes proponham uma solução criativa ao identificar uma situação específica ou um problema em sua comunidade.

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes escolham as características que eles ainda não apresentem ou que apresentem de forma incipiente e julguem essenciais para alcançar bons resultados, caso pensem em ser empreendedores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (UEPG-PR) Sobre o Sistema Solar e as teorias a ele relacionadas, indique o que for correto.

01. A teoria de um Sistema Solar geocêntrico foi proposta pelo astrônomo grego Ptolomeu e, mais tarde, contestada por Nicolau Copérnico.

02. A teoria heliocêntrica foi defendida por Galileu Galilei, que aceitou as ideias propostas por Nicolau Copérnico.

04. Os planetas internos são gasosos e os externos são os planetas terrestres.

08. Os maiores planetas do Sistema Solar estão mais próximos do Sol enquanto os menores, por sofrerem menor atração gravitacional, estão mais afastados.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas. 1. 01 + 02 = 03

2. Neste capítulo, estudamos que 1 unidade astronômica (1 ua) corresponde à distância média entre a Terra e o Sol, isto é, aproximadamente $1{,}5 \cdot 10^8$ km.

a. Considerando que 1 ano-luz corresponde a aproximadamente $9{,}5 \cdot 10^{12}$ km, 1 unidade astronômica corresponde a aproximadamente quantos anos-luz? 2. a. $\simeq 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ anos-luz

b. Considerando que 1 parsec corresponde a aproximadamente $3 \cdot 10^{16}$ m, 1 unidade astronômica corresponde a aproximadamente quantos parsecs? 2. b. $\simeq 4{,}9 \cdot 10^{-6}$ parsec

3. Se a distância entre a Terra e o Sol é de aproximadamente 150 milhões de quilômetros, depois de quanto tempo um fenômeno na superfície do Sol, como uma erupção solar, seria registrado no planeta Terra? Adote para o módulo da velocidade da luz o valor $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. 3. $\simeq$ 500 s ou $\simeq$ 8 min 20 s

4. Um exoplaneta hipotético orbita uma estrela a uma distância de 1 ua em uma órbita aproximadamente circular. Essa estrela é uma anã vermelha, cuja temperatura superficial é metade da temperatura superficial do Sol e cuja massa é metade da massa do Sol.

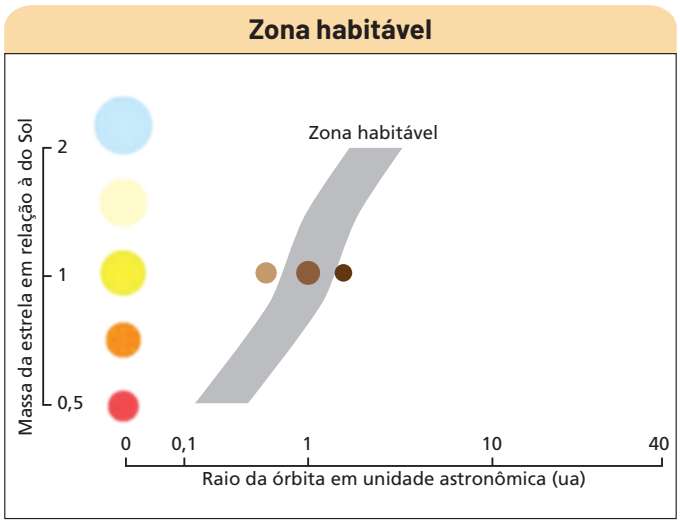
a. De acordo com o diagrama, considerando a massa da anã vermelha e a distância do planeta até a estrela, esse exoplaneta está localizado dentro da zona habitável? Justifique. 4. a. Não.

b. De acordo com a definição de zona habitável, há a possibilidade de existir água no estado líquido na superfície desse exoplaneta? Justifique sua resposta.

c. Ao investigar corpos celestes, como exoplanetas, busca-se por água em estado líquido como um dos indícios da possível presença de vida. Por quê?

d. Se a órbita da Terra em torno do Sol tivesse raio médio 10% menor que o atual, quais seriam as principais consequências para a vida no planeta?

4. Essa atividade possibilita o trabalho interdisciplinar com Biologia e Química, promovendo a discussão sobre a importância da água para a origem e a evolução da vida na Terra e desenvolvendo a habilidade EM13CNT202. Se possível, consulte os capítulos 1 (Introdução à Biologia e origem da vida) e 2 (A química da vida e as ligações covalentes) das unidades 1 dos volumes de Biologia e de Química, respectivamente, faça um planejamento prévio e trabalhe de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em KONESKY, G. Potential photosynthetic systems in extraterrestrial habitable zones. **Proceedings of SPIE**, v. 7097, Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology XI, 28 ago. 2008.

Representação esquemática da região conhecida como zona habitável ao redor de estrelas entre 0,5 e 2 massas solares. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

5. (Enem) Nas discussões sobre a existência de vida fora da Terra, Marte tem sido um forte candidato a hospedar vida. No entanto, há ainda uma enorme variação de critérios e considerações sobre a habitabilidade de Marte, especialmente no que diz respeito à existência ou não de água líquida. Alguns dados comparativos entre a Terra e Marte estão apresentados na tabela.

Planeta	Distância do Sol (km)	Massa (em relação à terrestre)	Aceleração da gravidade (m/s^2)	Composição da atmosfera	Temperatura média
Terra	149 milhões	1,00	9,8	Gases predominantes: Nitrogênio (N) e Oxigênio (O_2)	288 K (+15 °C)
Marte	228 milhões	0,18	3,7	Gás predominante: Dióxido de carbono (CO_2)	218 K (–55 °C)

4. b. Não, pois a temperatura na superfície do planeta será muito baixa; portanto, a água não se manterá no estado líquido.

4. c. Porque a água no estado líquido é essencial para a manutenção da vida como a conhecemos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com base nesses dados, é possível afirmar que, entre os fatores a seguir, aquele mais adverso à existência de água líquida em Marte é sua 5. Alternativa **e**.

a. grande distância ao Sol.
b. massa pequena.
c. aceleração da gravidade pequena.
d. atmosfera rica em CO_2.
e. temperatura média muito baixa.

6. Leia o texto a seguir e, depois, faça o que se pede.

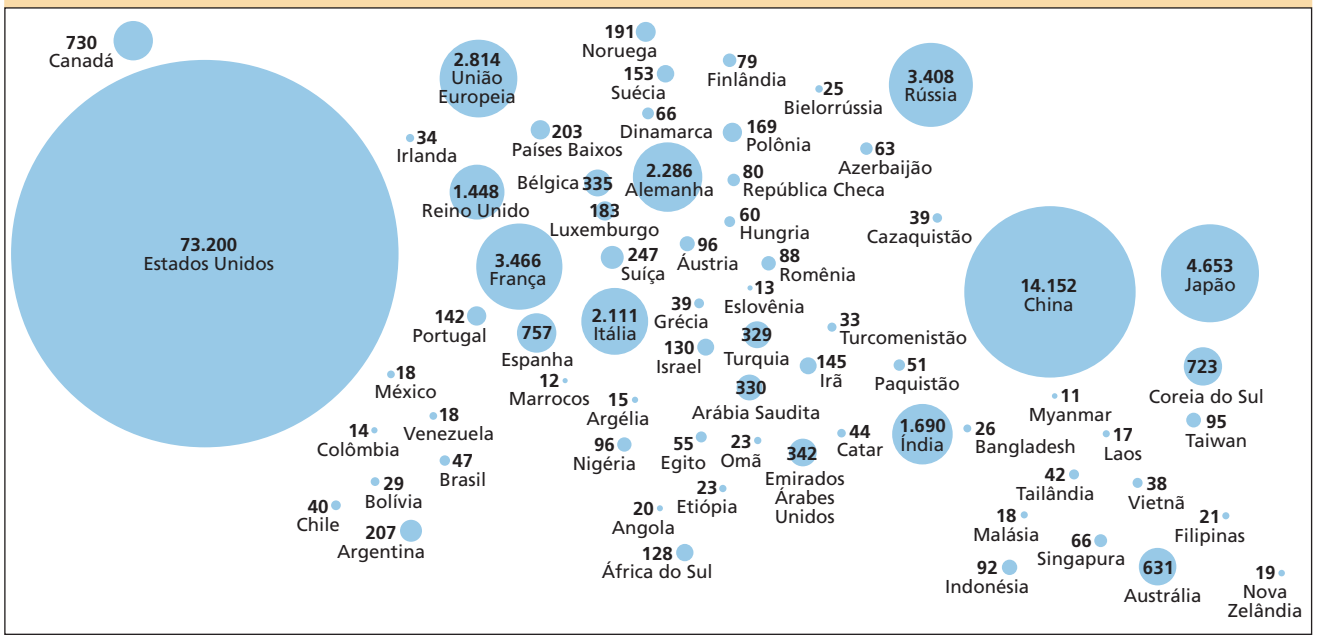
A exploração espacial não está restrita à pesquisa e ao avanço científico, mas também impulsiona o desenvolvimento de diversas aplicações que se tornam parte do nosso dia a dia e modificam o modo como vivemos; tecnologias, produtos e serviços essenciais para o desenvolvimento social e econômico. Serviços de telecomunicações, como televisão e internet via satélite, serviços de localização nos *smartphones*, termômetros digitais, técnicas para purificação da água e novas técnicas de cultivo utilizadas no mundo todo também foram desenvolvidos durante programas espaciais.

Pesquise tecnologias, produtos ou serviços originados da exploração espacial e escolha três deles que você utiliza frequentemente. Como esses itens afetam seu cotidiano?

6. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes relacionem algumas das tecnologias, dos produtos ou dos serviços pesquisados com itens que fazem parte de sua rotina e reflitam sobre o impacto da exploração espacial; como ela pode impulsionar o desenvolvimento de novas tecnologias, produtos e serviços essenciais para o desenvolvimento social e econômico, modificando o modo como vivemos.

7. Desde o início da exploração espacial até hoje, os governos têm sido os principais investidores nesse setor, e os investimentos têm aumentado nos últimos oito anos, também como forma de promover o desenvolvimento socioeconômico. Só em 2023 foram gastos aproximadamente 117 bilhões de dólares com programas espaciais no mundo, cerca de 15% a mais do que em 2022.

Gastos governamentais com programas espaciais em 2023 (em milhões de dólares)



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em NOVASPACE. New historic high for government space spending mostly driven by defense expenditures. **Novaspace**, 19 dez. 2023. Disponível em: https://nova.space/press-release/new-historic-high-for-government-space-spending-mostly-driven-by-defense-expenditures/. Acesso em: 21 out. 2024.

Gastos, em milhões de dólares, dos governos de diferentes países com programas espaciais em 2023. Nesse ano, um total de aproximadamente 117 bilhões de dólares foram gastos para esse fim.

a. Em dupla com um colega, discutam o impacto da exploração espacial na vida na Terra e elaborem dois argumentos, um a favor e um contra, sobre o investimento em programas espaciais. Busquem em fontes confiáveis (livros, artigos acadêmicos, *sites* de universidades, órgãos governamentais, institutos de pesquisa ou organizações internacionais) outras evidências que possam ser utilizadas na construção dos argumentos a favor e contra.

b. De acordo com o gráfico, qual é o país que mais investe em exploração espacial e o país que menos investe? 7. b. Mais investe: Estados Unidos; menos investe: Myanmar.

c. Como o Brasil se compara com os outros países da América Latina em relação ao investimento governamental em programas espaciais?

7. a. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre as implicações econômicas e sociais da exploração espacial por meio da análise de evidências e da construção de argumentos a favor e contra.

7. c. O Brasil é o segundo país da América Latina com maior investimento governamental em programas espaciais; na região, a Argentina é o país que mais investe.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 3

Estudo escalar do movimento

IPGGUTENBERGUKLTD/GETTY IMAGES

Paraquedistas em um salto coletivo na modalidade formação em queda livre, em que os atletas trabalham em equipe para formar diferentes figuras horizontais ainda com seus paraquedas fechados. A queda livre pode durar entre 35 s e 60 s, e os atletas atingem velocidades de intensidade de aproximadamente 200 km/h. O salto completo pode durar entre 5 min e 8 min.

O Universo em que vivemos é dinâmico e o movimento relativo entre os corpos pode ser observado em diferentes situações. Da Terra é possível observar o movimento dos planetas do Sistema Solar, por exemplo. Galáxias, estrelas, cometas e partículas de poeira cósmica também estão em movimento. Para estudar os movimentos de corpos no espaço e nas proximidades da superfície da Terra, é importante conhecer as grandezas físicas que os caracterizam, como deslocamento, tempo, velocidade e aceleração.

Neste capítulo, vamos iniciar o estudo da Cinemática, o ramo da Mecânica que descreve os movimentos e suas características sem considerar suas causas. Estudaremos os conceitos de movimento relativo, deslocamento, velocidade e aceleração escalares, queda livre, entre outros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Referencial e movimento relativo

O *bobsled* é um esporte de inverno em que os atletas, em equipe, descem em um trenó por uma estreita pista de gelo. Na figura a seguir, o trenó de uma equipe de *bobsled* está em movimento em relação aos espectadores na arquibancada, assim como aos atletas em seu interior, isto é, para as pessoas da arquibancada, os três atletas têm sua posição variando ao longo do tempo.

Porém, o atleta da frente está parado em relação aos demais atletas. Como sua posição não varia nessa situação, dizemos que ele está em repouso em relação aos atletas atrás dele. Logo, o atleta da frente está em movimento para as pessoas na arquibancada e em repouso para a equipe que o acompanha no trenó. Isso também vale para os outros três atletas, isto é, eles estão em repouso entre si e em relação ao trenó, mas estão em movimento em relação aos espectadores na plateia.

ONDREJ HAJEK/CTK PHOTO/ALAMY/FOTOARENA

Equipe de *bobsled* competindo nos Jogos Olímpicos de Inverno de 2022 em Pequim, China.

Chamamos o corpo em relação ao qual observamos se há movimento ou não de **referencial**. No exemplo anterior, podemos considerar como referencial tanto os observadores externos – as pessoas na arquibancada – como os atletas dentro do trenó ou mesmo o próprio trenó.

Corpo extenso e ponto material

Ao comprar uma bicicleta, é preciso encontrar um local para guardá-la em casa sem que atrapalhe a circulação dos moradores, pois ela ocupa um espaço considerável. Nesse caso, como as dimensões da bicicleta são importantes (não desprezíveis) e devem ser consideradas, ela é um **corpo extenso**.

PHOTOGRAPHEE.EU/SHUTTERSTOCK

Em determinadas situações, a bicicleta pode ser considerada um corpo extenso.

No entanto, quando usamos a bicicleta para ir de um local a outro no bairro ou de uma cidade a outra em uma competição, por exemplo, suas dimensões deixam de ser importantes. Ou seja, considerando o caminho percorrido, o tamanho da bicicleta se torna desprezível e, nesse caso, ela é um **ponto material**.

VIKTORIIA1208/SHUTTERSTOCK

Durante uma competição de ciclismo em que a distância percorrida pela bicicleta é muito grande, ela pode ser considerada um ponto material.

Trajetória

A Corrida Internacional de São Silvestre, que ocorre anualmente na cidade de São Paulo, foi criada em 1925 e é a mais tradicional corrida de rua do Brasil. A figura a seguir mostra o percurso de 15 km dessa competição.

Mapa da região central da cidade de São Paulo

ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

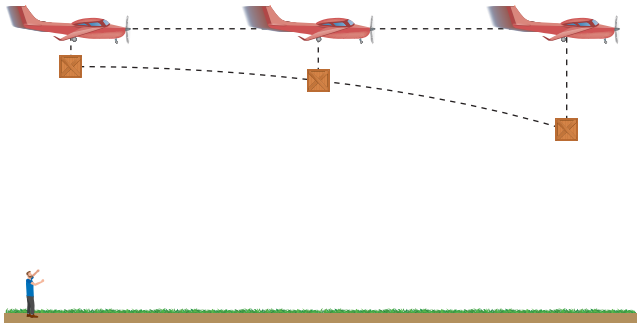
Fonte: elaborado com base em GAZETA ESPORTIVA. São Silvestre. **Percurso**. São Paulo, 2024. Disponível em: https://www.gazetaesportiva.com/sao-silvestre/percurso/. Acesso em: 17 out. 2024.

Representação do percurso de 15 km da Corrida Internacional de São Silvestre realizada todos os anos no dia 31 de dezembro, na cidade de São Paulo.

Ao representarmos geometricamente o percurso ou o caminho de um corpo em movimento, que nesse caso são os atletas na corrida, caracterizamos a **trajetória**, que pode ser definida como uma linha que conecta os pontos que o corpo ocupou ao longo do tempo em relação a um referencial.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática das trajetórias de um avião e de uma caixa de suprimentos. A trajetória depende do referencial. (Imagem sem escala.)

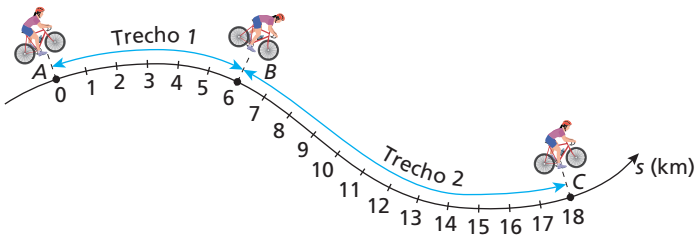
Assim como o movimento, a trajetória depende do referencial. Isso significa que, ao mudar o referencial, a trajetória também se altera. Imagine, por exemplo, que um avião se desloque em linha reta paralela ao solo plano e horizontal, com velocidade constante, e uma caixa com suprimentos seja abandonada do seu interior (desprezemos os efeitos do ar no movimento dessa caixa).

O piloto vê a caixa caindo em uma trajetória retilínea vertical, sempre embaixo da aeronave. No entanto, para um observador fixo no solo, a caixa descreve uma trajetória curvilínea – um arco de parábola.

Deslocamento, velocidade e aceleração escalares

Em situações desportivas, podem ser muito relevantes questões como deslocar-se de forma mais rápida entre dois pontos ou alcançar uma velocidade de maior intensidade no menor intervalo de tempo possível.

A ilustração a seguir mostra, fora de escala, a trajetória descrita por uma ciclista em uma ciclovia. Essa trajetória pode ser definida como a linha que liga os pontos consecutivos pelos quais ela passa e é orientada pelo sentido da ponta de seta mostrada na figura. Essa ciclista se desloca do ponto *A* em direção ao ponto *B* em uma ciclovia. Ao chegar ao ponto *B*, ela para instantaneamente para depois continuar e chegar ao ponto *C*. O percurso total demora duas horas e meia e, para ir de *A* até *B*, ela demora uma hora.



Representação esquemática do deslocamento escalar de uma ciclista do ponto *A* ao *B* e do ponto *B* ao *C* ao longo de uma trajetória. (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com base no percurso da ciclista, podemos definir variáveis que descrevem o movimento em cada trecho, conforme o quadro a seguir.

Variáveis	Trecho 1	Trecho 2
Espaço inicial (s_0): início do movimento	$s_0 = 0$ km	$s_0 = 6$ km
Espaço final (s): fim do movimento	$s = 6$ km	$s = 18$ km
Tempo inicial (t_0): instante em que tem início a medição de tempo	$t_0 = 0$ h	$t_0 = 1$ h
Tempo final (t): instante em que termina a medição de tempo	$t = 1$ h	$t = 2{,}5$ h

Analisando as variáveis indicadas nesse quadro, podemos definir **deslocamento escalar** (Δs) como a variação na posição de um corpo na trajetória, nesse caso, a posição da ciclista, considerando-se os espaços inicial e final. O deslocamento escalar, ou a variação do espaço, pode ser representado pela seguinte expressão matemática:

$$\Delta s = s - s_0$$

Assim, o deslocamento escalar da ciclista no trecho 1 é dado por:

$$\Delta s_1 = s - s_0 \Rightarrow \Delta s_1 = 6 \text{ km} - 0 \text{ km} \therefore \Delta s_1 = 6 \text{ km}$$

O deslocamento escalar no trecho 2 é dado por:

$$\Delta s_2 = s - s_0 \Rightarrow \Delta s_2 = 18 \text{ km} - 6 \text{ km} \therefore \Delta s = 12 \text{ km}$$

O deslocamento escalar total realizado pela ciclista é dado por:

$$\Delta s_{total} = s - s_0 \Rightarrow \Delta s_{total} = 18 \text{ km} - 0 \text{ km} \therefore \Delta s_{total} = 18 \text{ km}$$

Esse valor também equivale à soma algébrica dos deslocamentos escalares parciais no trecho 1 e no trecho 2.

$$\Delta s_{total} = \Delta s_1 + \Delta s_2 \Rightarrow \Delta s_{total} = 6\text{ km} + 12\text{ km} \therefore \Delta s_{total} = 18\text{ km}$$

Ao se deslocar pela ciclovia, a ciclista percorre o trajeto com certa rapidez, que pode ser medida considerando a variação do espaço percorrido e o correspondente intervalo de tempo. A grandeza física que permite quantificar essa rapidez é chamada de **velocidade escalar média** (v_m) e pode ser representada pela seguinte expressão:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Logo, para calcular a velocidade escalar média da ciclista no trecho 1, fazemos:

$$v_{m\,trecho\,1} = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} \Rightarrow v_{m\,trecho\,1} = \frac{s - s_0}{t - t_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{m\,trecho\,1} = \frac{6\text{ km} - 0\text{ km}}{1\text{ h} - 0\text{ h}} \therefore v_{m\,trecho\,1} = 6\text{ km/h}$$

Para calcular a velocidade escalar média da ciclista no trecho 2, fazemos:

$$v_{m\,trecho\,2} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} \Rightarrow v_{m\,trecho\,2} = \frac{s - s_0}{t - t_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{m\,trecho\,2} = \frac{18\text{ km} - 6\text{ km}}{2{,}5\text{ h} - 1\text{ h}} \Rightarrow v_{m\,trecho\,2} = \frac{12\text{ km}}{1{,}5\text{ h}} \therefore v_{m\,trecho\,2} = 8\text{ km/h}$$

E, para obter a velocidade escalar média no percurso total, fazemos:

$$v_{m\,total} = \frac{\Delta s_{total}}{\Delta t} \Rightarrow v_{m\,total} = \frac{s - s_0}{t - t_0} \Rightarrow$$

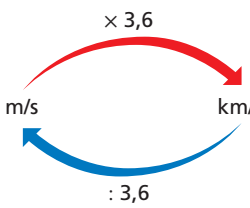
$$\Rightarrow v_{m\,total} = \frac{18\text{ km} - 0\text{ km}}{2{,}5\text{ h} - 0\text{ h}} \Rightarrow v_{m\,total} = \frac{18\text{ km}}{2{,}5\text{ h}} \therefore v_{m\,total} = 7{,}2\text{ km/h}$$

A velocidade escalar de uma pessoa caminhando ou correndo, de um ciclista pedalando, de um veículo trafegando em uma via ou de um avião voando pode apresentar variações, ou seja, pode não se manter constante. No caso de um automóvel, o velocímetro indica a **velocidade escalar instantânea** (***v***) em cada instante do movimento. A velocidade escalar instantânea é, então, o valor da velocidade escalar média em um intervalo de tempo muito pequeno, cuja duração tende a zero.

Como exemplificado anteriormente, a unidade de medida da velocidade escalar da ciclista foi dada em quilômetro por hora (km/h ou km h^{-1}). Porém, no Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida de velocidade é dada em **metro por segundo** (m/s ou m s^{-1}). Para converter km/h em m/s e vice-versa, podemos fazer:

$$1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 1 \cdot \frac{1.000\text{ m}}{3.600\text{ s}} \Rightarrow 1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para converter km/h em m/s dividimos o valor da velocidade por 3,6. Consequentemente, para converter m/s em km/h, multiplicamos o valor da velocidade por 3,6.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Representação da conversão das unidades de medida de velocidade.

Então, no trecho 2, como a velocidade escalar média da ciclista é 8 km/h, para obter sua velocidade escalar média em m/s, basta dividir por 3,6.

$$v_{m\,trecho\,2} = 8\text{ km/h} \Rightarrow v_{m\,trecho\,2} = \frac{8}{3{,}6}\text{ m/s} \therefore v_{m\,trecho\,2} \simeq 2{,}2\text{ m/s}$$

Comente com os estudantes que km h^{-1} e km/h são duas maneiras equivalentes de representar a unidade de medida de velocidade quilômetro por hora. Nas placas de trânsito e nos velocímetros dos automóveis, é muito comum a representação km/h. Do mesmo modo, a unidade de medida metro por segundo pode ser representada tanto por m s^{-1} como por m/s.

ALEKSANDR PROSHKIN/ ALAMY/FOTOARENA

O velocímetro dos veículos mostra o valor absoluto (ou módulo) da velocidade escalar a cada instante ao longo do percurso, ou seja, ele indica a intensidade da velocidade escalar instantânea.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Voltando ao exemplo da ciclista, enquanto ela se desloca pela ciclovia, sua velocidade escalar pode variar. A grandeza física que quantifica essa variação em um intervalo de tempo é chamada de **aceleração escalar média** (a_m) e pode ser representada pela expressão:

$$a_m = \frac{v - v_0}{t - t_0} \Rightarrow a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

No SI, a unidade de medida da aceleração escalar é dada em metro por segundo por segundo, que equivale a metro por segundo ao quadrado (m s^{-2} ou m/s^2). Para calcular a aceleração em determinado momento, vamos considerar que a ciclista tenha atingido a velocidade 5 km/h. Mas antes devemos converter a velocidade de km/h em m/s e então calcular a aceleração.

$$v_{m_{\text{trecho 1}}} = 5 \text{ km/h} = \frac{5}{3{,}6} \text{m/s} \Rightarrow v_{m_{\text{trecho 1}}} \simeq 1{,}38 \text{ m/s}$$

Admitindo que a ciclista partiu do repouso, ou seja, $v_0 = 0$, e atingiu a velocidade escalar de 5 km/h em um intervalo de tempo de 5 s, a aceleração escalar média poderá ser calculada da maneira a seguir.

$$a_m = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} \Rightarrow a_m \simeq \frac{1{,}38 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} \therefore a_m \simeq 0{,}28 \text{ m/s}^2$$

Assim como a velocidade escalar média, a aceleração escalar média também pode ser calculada para um intervalo de tempo muito pequeno, cuja duração tende a zero; nesse caso, obtemos a **aceleração escalar instantânea**, ou seja, a aceleração escalar em um dado instante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO Por que a padronização das unidades de medida é importante?

As grandezas físicas em geral – comprimento, massa, tempo, velocidade, aceleração, força, energia, potência, carga elétrica e intensidade de corrente elétrica, entre outras – precisam ser medidas. Essa medição é feita comparando-se a quantidade considerada da grandeza com uma **unidade de medida** de mesma espécie.

Podemos verificar a capacidade de uma caixa-d'água, por exemplo, comparando-se essa capacidade com um litro. Quantas vezes um litro está contido no interior da caixa-d'água? Nesse caso, o litro é a unidade de medida.

Até o início do século XX, era comum os países empregarem unidades de medida domésticas – locais – em suas medições, e isso causava grandes transtornos por ocasião de intercâmbios científicos e comerciais. Ainda hoje, o Reino Unido mantém algumas dessas unidades de medida, como a polegada, o pé, a milha e a libra, inicialmente definidas com base em dimensões do corpo do rei ou da rainha de cada época. Mesmo o Brasil adotava unidades de medida regionais, como a légua, o alqueire e a arroba, entre outras. Que confusão!

Para facilitar as relações científicas, industriais e comerciais entre países, sugeriu-se a criação de um elenco único de unidades de medida a serem empregadas pelos países signatários dessa proposta.

O **Sistema Internacional de Unidades (SI)** foi apresentado a fim de padronizar as unidades de medida para diferentes grandezas. No Brasil, o SI foi adotado em 1962, tornando-se obrigatório a partir de 1988.

No SI, foram definidas sete grandezas fundamentais e suas respectivas **unidades de base**.

Unidades de base do SI

Grandeza fundamental	Unidade de base	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de substância	mol	mol
Corrente elétrica	ampere	A
Intensidade luminosa	candela	cd

Fonte: INMETRO; IPQ. **Sistema Internacional de Unidades (SI)**. 9. ed. Brasília, DF/Caparica: Inmetro/IPQ, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/si_versao_final.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

Outras **unidades do SI**, derivadas das unidades de base, e suas respectivas grandezas estão relacionadas a seguir.

Continua

3. Aproveite a atividade para desenvolver um trabalho interdisciplinar com Língua Portuguesa, promovendo a discussão sobre o campo de atuação na vida pública e desenvolvendo as habilidades EF67LP16 e EF69LP24. Apresente aos estudantes o Código de Defesa do Consumidor e proponha uma discussão sobre as experiências deles em relação ao desrespeito a artigos desse documento relacionados a medições. Se possível, peça a eles que pesquisem sobre espaços de reclamação de direitos e de envio de solicitações, como ouvidorias, SAC, canais e plataformas ligados a órgãos públicos.

Continuação

Unidades derivadas do SI

Grandeza derivada	Unidade derivada	Símbolo	Expressão da unidade em unidades de base
Força	newton	N	$kg \cdot (m/s^2)$
Energia	joule	J	$kg \cdot (m^2/s^2)$
Potência	watt	W	$kg \cdot (m^2/s^3)$
Carga elétrica	coulomb	C	$A \cdot s$
Tensão elétrica	volt	V	$(kg \cdot m^2)/(s^3 \cdot A)$
Resistência elétrica	ohm	Ω	$(kg \cdot m^2)/(s^3 \cdot A^2)$
Temperatura Celsius	grau Celsius	°C	$1\ °C \simeq 274{,}15\ K$

Fonte: INMETRO; IPQ. **Sistema Internacional de Unidades (SI)**. 9. ed. Brasília, DF/Caparica: Inmetro/IPQ, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/si_versao_final.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

[...]

A ciência de medição não é, no entanto, puramente reservada aos cientistas. É algo essencial a quase todos os aspectos dos empreendimentos humanos, pois são utilizados em atividades que incluem o controle da produção, a avaliação da qualidade do meio ambiente, da saúde e da segurança, e da qualidade de materiais, comida e outros produtos para garantir práticas seguras de comércio e a proteção ao consumidor.

[...]

As medições estão presentes em quase todas as operações comerciais, desde o comércio em larga escala (como o petróleo, o gás natural e a mineração) até a venda de produtos para o público em geral.

[...]

Medições e regulações precisas de água, combustível, alimentos e eletricidade são fundamentais para a proteção do consumidor e promovem o fluxo de bens e serviços entre parceiros comerciais. Um sistema de medição comum e padrões de qualidade beneficiam o consumidor e o produtor [...].

Fonte: FRANCESCHINI, J. A importância da metrologia para a sociedade. **ASMETRO-SI**, Rio de Janeiro, 21 jan. 2023. Disponível em: https://asmetro.org.br/portalsn/2023/01/21/a-importancia-da-metrologia-para-a-sociedade/. Acesso em: 26 jun. 2024.

MAURO AKIN NASSOR/FOTOARENA

Em feiras livres do Brasil, é possível encontrar produtos tradicionalmente vendidos em maços, bacias, cuias, paneiros e rasas. No mercado Ver-o-Peso em Belém, no Pará, é possível comprar um litro de farinha de tapioca e um litro de castanha, entre outros produtos sólidos, que podem ser medidos com maior precisão em quilograma (2020).

1. Contribui com a precisão e confiabilidade das medições.

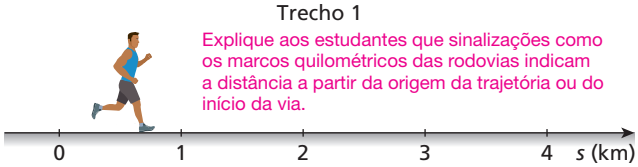
1. De acordo com o texto, como o Sistema Internacional de Unidades contribui para as medições?
2. Liste quatro unidades de medida que você utiliza no dia a dia e responda às questões a seguir.
   a. Todas essas unidades de medida são unidades de base do SI? 2. Resposta pessoal.
   b. Quais são as grandezas associadas a essas unidades de medida?
3. Qual é a importância da padronização das unidades de medida para o consumidor?

3. Avaliar e comparar a qualidade dos produtos.

Movimento progressivo e movimento retrógrado

Um corredor se desloca em uma pista de corrida de 4 km. Na primeira meia hora, ele percorre a trajetória no sentido crescente das indicações de distância na pista, dadas pelas placas ao longo dela.

Trecho 1



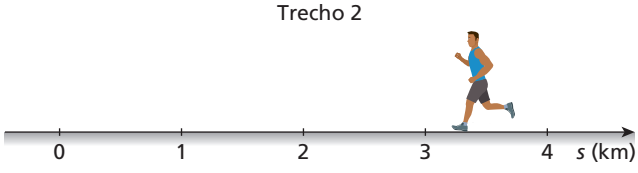
Explique aos estudantes que sinalizações como os marcos quilométricos das rodovias indicam a distância a partir da origem da trajetória ou do início da via.

Representação esquemática de um corredor se deslocando no sentido crescente das indicações de distância na pista (trecho 1). (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Em seguida, o corredor faz a volta e retorna ao ponto de partida, percorrendo a trajetória no sentido decrescente das indicações de distância na pista, dadas pelas placas ao longo dela. Para retornar ao ponto de partida, ele percorre o trajeto em igual intervalo de tempo que o do percurso de ida.

Trecho 2



Representação esquemática de um corredor se deslocando no sentido decrescente das indicações de distância na pista (trecho 2). (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nesses casos, o corredor percorre os trechos 1 e 2, respectivamente, em movimento progressivo e em movimento retrógrado.

Quando o corredor se desloca no mesmo sentido da orientação da trajetória, o **movimento é progressivo**. Logo, o deslocamento escalar no trecho 1 é dado por:

$$\Delta s_1 = s - s_0 \Rightarrow \Delta s_1 = 4\text{ km} - 0\text{ km} \therefore \Delta s_1 = 4\text{ km}$$

Note que o deslocamento escalar com sinal positivo indica um movimento progressivo.

Quando o corredor se desloca no sentido oposto ao da orientação da trajetória, o **movimento é retrógrado**. Logo, o deslocamento escalar no trecho 2 é dado por:

$$\Delta s_2 = s - s_0 \Rightarrow \Delta s_2 = 0\text{ km} - 4\text{ km} \therefore \Delta s_2 = -4\text{ km}$$

Note que o deslocamento escalar com sinal negativo indica um movimento retrógrado.

O deslocamento escalar total pode ser obtido de duas formas. A primeira forma é pela adição dos deslocamentos escalares parciais. Assim, temos:

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = 4\text{ km} - 4\text{ km} \therefore \Delta s = 0\text{ km}$$

A segunda forma é pela subtração entre o espaço final e o espaço inicial do corredor no percurso total (ida e volta). Assim, temos:

$$\Delta s = s - s_0 \Rightarrow \Delta s = 0\text{ km} - 0\text{ km} \therefore \Delta s = 0\text{ km}$$

Para obter a distância total percorrida (D), fazemos a adição dos módulos dos deslocamentos escalares parciais:

$$D = |\Delta s_1| + |\Delta s_2| \Rightarrow D = |4\text{ km}| + |-4\text{ km}| \Rightarrow$$
$$\Rightarrow D = 4\text{ km} + 4\text{ km} \therefore D = 8\text{ km}$$

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

1. Considere um *skatista* em movimento em um parque com várias pessoas. Indique um referencial em relação ao qual o *skatista* esteja em repouso e um referencial em relação ao qual ele esteja em movimento.

1. Repouso: ao próprio *skate*. Movimento: uma pessoa parada no parque.

2. Ao espirrar, uma pessoa ejeta gotículas de saliva e secreções bucais que saem da boca com velocidade escalar de aproximadamente 108 km/h. Essas gotículas, porém, têm a intensidade de sua velocidade reduzida devido à resistência do ar externo.

a. Qual é a velocidade escalar, em m/s, no instante em que as gotículas são ejetadas? 2. a. 30 m/s

b. Considerando que esse espirro ocorre em um décimo de segundo e que o movimento das gotículas cessa ao final do espirro, calcule o módulo da aceleração escalar média dessas gotículas durante o espirro (saída da boca da pessoa até sua imobilização final). 2. b. 300 m/s²

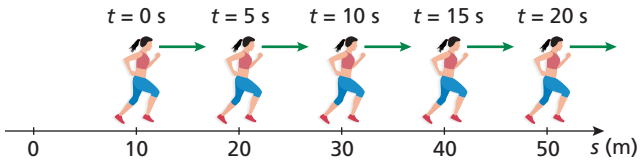
3. Você lança sua borracha de apagar verticalmente para cima; ela sobe e desce, regressando à sua mão. O movimento de subida da borracha é progressivo ou retrógrado? E o de descida? 3. A depender da orientação da trajetória.

Movimento uniforme (MU)

A órbita da Terra em torno do Sol é uma elipse de pequena excentricidade que pode ser aproximada a uma circunferência. Tal fato pode ser constatado devido à razoável equidistância do planeta em relação à estrela ao longo do tempo, durante o movimento orbital. Desse fato decorre que a Terra realiza seu movimento orbital praticamente com velocidade escalar constante (≃ 30 km/s).

Nesse caso e em outros nos quais a velocidade escalar não se altera, temos um **movimento uniforme** (**MU**). Um corpo em movimento uniforme sofre variações iguais de espaço em intervalos de tempo iguais.

No exemplo a seguir, uma pessoa corre por uma pista de atletismo em MU.



Representação esquemática das posições da pessoa em diferentes instantes durante a corrida. (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Note que as variações do espaço e do tempo são sempre as mesmas entre duas posições consecutivas ao longo do movimento, $\Delta s = 10$ m e $\Delta t = 5$ s. Com isso, confirma-se que a pessoa desenvolve um movimento uniforme.

Ela inicia o movimento no instante $t = 0$ s e no espaço $s_0 = 10$ m. Com os dados disponíveis na figura, podemos construir o quadro a seguir, que relaciona o tempo t e o espaço s para esse movimento uniforme.

Tempo t (s)	Espaço s (m)
0	10
5	20
10	30
15	40
20	50

Os dados indicam que a pessoa avança 10 metros a cada 5 segundos, ou seja, a variação do espaço é constante em intervalos de tempo iguais. Essa relação pode ser representada por uma função matemática válida para qualquer movimento uniforme, como estudaremos a seguir.

Funções horárias no MU

Imagine um preparador físico acompanhando o treino de uma atleta. Se a atleta estiver correndo e o preparador souber a velocidade escalar, considerando-a constante, ele poderá prever em quanto tempo a atleta completará certa quantidade de voltas na pista.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

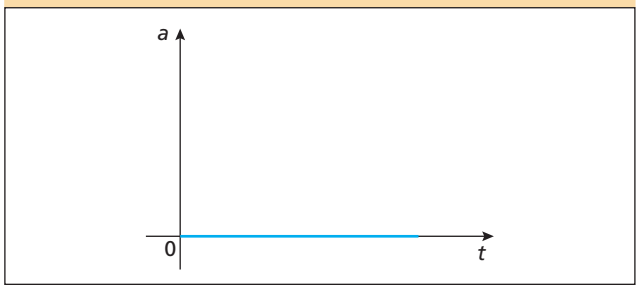
As equações que permitem calcular o espaço em função do tempo e a velocidade escalar em função do tempo são chamadas de **função horária do espaço** e **função horária da velocidade**, respectivamente, e vamos estudá-las a seguir.

Conhecida a velocidade escalar, o preparador físico pode usar funções horárias para descrever a relação entre o espaço ou a posição da atleta na trajetória e o tempo.

No exemplo da pessoa correndo, a variação constante do espaço em intervalos de tempo iguais indica que sua velocidade escalar é constante. Se a velocidade escalar é constante, não há aceleração escalar, ou seja, a aceleração escalar é constante e nula; portanto, a **função horária da aceleração** no movimento uniforme é dada por $a = 0$.

A curva que representa a função horária da aceleração escalar no MU é dada por uma reta que coincide com o eixo t (eixo das abscissas).

Gráfico de $a \times t$ no MU



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

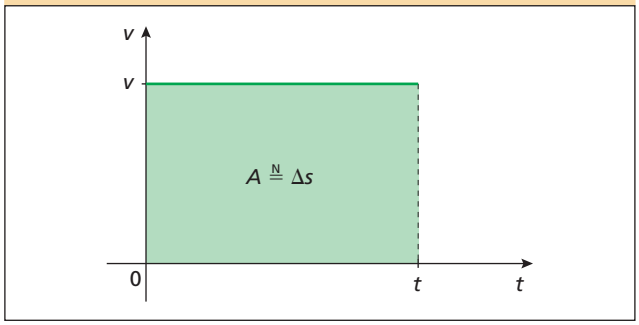
Gráfico da aceleração escalar (a) em função do tempo (t) no movimento uniforme.

Para obter a função que relaciona o espaço com o tempo, tomamos por base a velocidade escalar. Podemos considerar que a velocidade escalar instantânea é constante no MU; assim, ela será igual à velocidade escalar média. Temos, então, que a **função horária da velocidade** no movimento uniforme é dada por:

$$v = v_m \Rightarrow v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ (constante)}$$

No caso da função horária da velocidade escalar (não nula), a curva que representa essa função será uma reta paralela ao eixo t (eixo das abscissas).

Gráfico de $v \times t$ no MU



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da velocidade escalar (v) em função do tempo (t) no movimento uniforme.

Além disso, a área A sob a reta do gráfico é numericamente igual à variação do espaço no intervalo de tempo correspondente. Portanto, temos a seguinte equivalência:

$$A \overset{N}{=} \Delta s$$

Pela função horária da velocidade, temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{s - s_0}{t - t_0} \Rightarrow v \cdot (t - t_0) = s - s_0 \Rightarrow$$

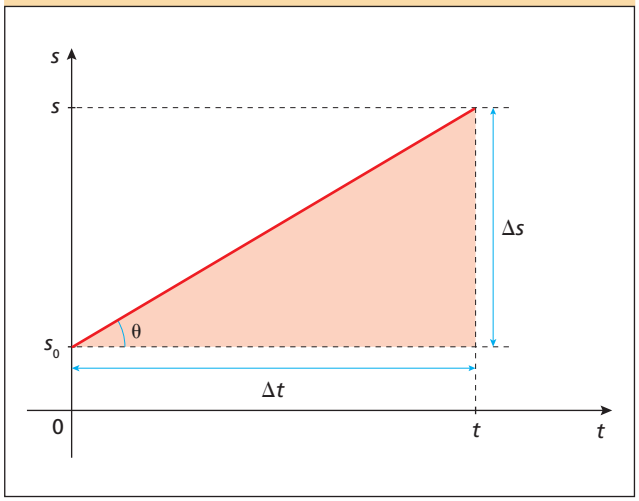
$$\Rightarrow s = s_0 + v \cdot (t - t_0)$$

Em que s_0 é o espaço no instante t_0 e s é o espaço em um instante posterior t. Admitindo-se $t_0 = 0$ na expressão anterior, temos a **função horária do espaço** no MU:

$$s = s_0 + v \cdot (t - 0) \Rightarrow s = s_0 + v \cdot t$$

A função horária do espaço é do 1º grau; logo, a curva que representa essa função é uma reta oblíqua, inclinada, no gráfico do espaço (s) em função do tempo (t).

Gráfico de $s \times t$ no MU



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico do espaço (s) em função do tempo (t) no movimento uniforme.

Note que, com base no gráfico, podemos calcular o valor da velocidade escalar a partir da tangente do ângulo θ no triângulo retângulo formado.

Em um triângulo retângulo, a tangente de um ângulo é dada pela relação entre o cateto oposto e o cateto adjacente ao ângulo.

De acordo com o gráfico:

- o cateto oposto representa o deslocamento escalar Δs.

$$\Delta s = s - s_0$$

- o cateto adjacente representa o intervalo de tempo Δt.

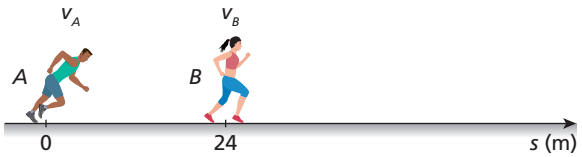
$$\Delta t = t - t_0$$

Portanto, a tangente do ângulo θ é numericamente igual à velocidade escalar:

$$\text{tg}\,\theta = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \text{tg}\,\theta \overset{N}{=} v$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA



Representação esquemática das posições dos atletas *A* e *B* no instante $t_0 = 0$. (Imagem sem escala.)

Em determinado instante, que será designado origem dos tempos $t_0 = 0$, dois atletas *A* e *B* passam, respectivamente, pelas posições 0 m e 24 m de determinada pista de corrida dotada de marcações métricas ao longo de toda a sua extensão. Esses atletas descrevem movimentos uniformes no mesmo sentido com velocidades escalares $v_A = 8{,}0$ m/s e $v_B = 5{,}0$ m/s. Determine em que posição da pista o atleta *A* alcança o atleta *B* e esboce, em um mesmo diagrama, os gráficos do espaço em função do tempo para os movimentos dos dois atletas.

Analisar o enunciado

Para facilitar a resolução do problema, vamos dividi-lo em problemas menores, ou seja, vamos fazer sua decomposição. Primeiro, vamos analisar o movimento do atleta *A* e, depois, o movimento do atleta *B*. Em seguida, podemos determinar o instante do encontro dos atletas, para depois determinar a posição em que ele ocorre, ou seja, a posição da pista em que o atleta *A* alcança o atleta *B*.

Selecionar as informações relevantes

Os dados do enunciado relevantes para a resolução do problema podem ser organizados em um quadro.

Atleta	Espaço inicial s_0 (m)	Tempo inicial t_0 (s)	Velocidade escalar v (m/s)
A	0	0	8,0
B	24	0	5,0

Aplicar o conceito estudado

Os atletas *A* e *B* descrevem movimentos uniformes, no mesmo sentido da orientação da trajetória, cuja função horária do espaço é dada por $s = s_0 + v \cdot t$. Portanto, podemos aplicar essa função para descrever os movimentos dos dois atletas.

Para o atleta *A*: $s_A = 0 + 8{,}0 \cdot t$ (SI)

Para o atleta *B*: $s_B = 24 + 5{,}0 \cdot t$ (SI)

Assim, podemos determinar o instante do encontro t_E. Nesse instante, os atletas estarão lado a lado, na mesma posição da pista; logo, $s_A = s_B$.

$$8{,}0 \cdot t_E = 24 + 5{,}0 \cdot t_E \Rightarrow 8{,}0 \cdot t_E - 5{,}0 \cdot t_E = 24 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3{,}0 \cdot t_E = 24 \Rightarrow t_E = \frac{24}{3{,}0} \therefore t_E = 8{,}0 \text{ s}$$

Para determinar o espaço s_E em que o atleta *A* alcança o atleta *B*, podemos utilizar qualquer uma das funções horárias do espaço.

Utilizando a função horária do espaço para o atleta *A*, temos:

$$s_E = 0 + 8{,}0 \cdot t_E \Rightarrow s_E = 8{,}0 \cdot 8{,}0 \therefore s_E = 64{,}0 \text{ m}$$

Para esboçar em um mesmo diagrama os gráficos do espaço (*s*) em função do tempo (*t*) para os movimentos dos dois atletas, utilizamos suas funções horárias, que são funções do 1º grau. Portanto, os gráficos são retas oblíquas.

Gráfico de $s \times t$ para os atletas *A* e *B*

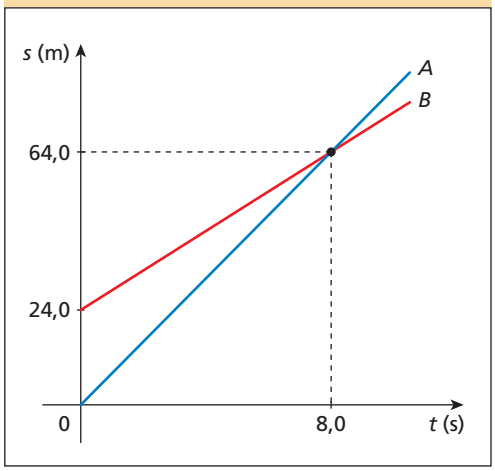


Gráfico do espaço (*s*) em função do tempo (*t*) para o movimento dos atletas *A* e *B*.

Verificar a solução

Os gráficos $s \times t$ estão de acordo com os movimentos progressivos dos atletas (funções crescentes) e ratificam a resolução, já que indicam no ponto de intersecção o instante e a posição do encontro entre *A* e *B*.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Na fotografia de múltipla exposição a seguir, em que os fotogramas foram obtidos em intervalos de tempo sucessivos e de mesma duração, uma bolinha de tênis se deslocou ao longo de uma calha reta, lisa e horizontal com velocidade escalar constante em um ambiente onde a resistência do ar pode ser desprezada. Trata-se, portanto, de um movimento retilíneo e uniforme.

SCIENCE SOURCE/EASY MEDIABANK

Foto estroboscópica de uma bolinha de tênis em movimento retilíneo e uniforme.

a. Qual é o detalhe da imagem que permite inferir que o movimento da bolinha é uniforme?

b. Qual é a aceleração escalar da bolinha?

4. a. Espaçamento entre as bolinhas.
4. b. Nula.

5. A Estação Espacial Internacional (EEI) é um superlaboratório que orbita a Terra em movimento circular e uniforme, com velocidade escalar próxima de 28.000 km/h. Essa base recebe tripulações de astronautas de diversos países que lá permanecem por longos períodos realizando variados experimentos e missões em ambientes de microgravidade.

Em sua órbita, a EEI percorre a distância entre o Rio de Janeiro e Paris em aproximadamente 20 min. Determine o valor aproximado dessa distância.

5. $\simeq$ 9.333 km

6. Uma partícula em movimento uniforme se desloca ao longo de uma trajetória orientada obedecendo à função horária do espaço a seguir, com s medido em metro e t, em segundo.

$$s = 100 - 20t \ \text{(SI)}$$

Responda.

a. Quais são o espaço inicial e a velocidade escalar?

b. Em que instante a partícula passa pela origem dos espaços?

c. Em qual instante o espaço vale 60 m?

6. a. 100 m; – 20 m/s
6. b. 5,0 s
6. c. 2,0 s

7. No movimento uniforme (MU), o gráfico do espaço em função do tempo é uma reta oblíqua e o gráfico da velocidade escalar em função do tempo é uma reta paralela ao eixo dos tempos.

a. Qual é o significado físico de declividade da curva no gráfico do espaço em função do tempo?

b. Qual é o significado físico da área compreendida entre a curva e o eixo dos tempos no gráfico da velocidade escalar em função do tempo?

7. a. Velocidade escalar.
7. b. Variação do espaço.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Análise de um movimento uniforme

Quando a velocidade escalar de um corpo não se altera durante seu movimento, este pode ser descrito como um movimento uniforme. Nesse caso, o corpo sofre variações de espaço iguais em intervalos de tempo iguais.

OBJETIVO

Analisar um movimento uniforme por meio da observação do movimento vertical de uma bolinha através da água pigmentada contida em uma proveta.

MATERIAIS

- Proveta de plástico ou de vidro transparente com aproximadamente 50 cm de altura.
- Água que preencha a proveta até a boca.
- Anilina ou corante de roupas.
- Bolinhas de gude de diâmetros iguais.
- Cronômetro.
- Régua ou trena.
- Caneta permanente.

Os estudantes podem utilizar a função cronômetro disponibilizada em relógios de celulares, a função cronômetro de relógios de pulso ou um cronômetro esportivo.

PROCEDIMENTO

▶ Inicialmente, preencha a proveta ou uma garrafa plástica com água e pingue algumas gotas do corante para pigmentar a água.

Caso os estudantes não tenham acesso a provetas, auxilie-os na obtenção de recipientes alternativos, como garrafas de plástico transparente.

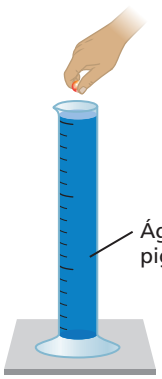
Continua

Continuação

Certifique-se de que os estudantes escolham como origem um ponto abaixo da superfície da água, pois o movimento inicialmente não é uniforme; portanto, a velocidade escalar da bolinha será constante apenas depois que ela percorrer determinada distância dentro da água.

- Marque um ponto de origem no corpo da proveta ou da garrafa plástica um pouco abaixo da superfície da água. A partir da origem escolhida, faça a graduação do recipiente marcando intervalos de 2,5 cm até a base.
- Divida o comprimento vertical da proveta em três partes iguais, a partir da origem. Indique essa divisão no corpo do recipiente.
- Em seguida, com o cronômetro em uma das mãos pronto para ser disparado e travado, solte com suavidade uma bolinha junto à superfície da água, medindo o intervalo de tempo gasto por ela para percorrer o terço inicial do comprimento da proveta, a partir da origem. Repita essa ação algumas vezes, calcule o valor médio e registre em seu caderno os dados do espaço, em centímetro, correspondente ao intervalo de tempo medido, em segundo.

Sugira aos estudantes que construam no caderno uma tabela para organizar os dados coletados durante o experimento, registrando incialmente as posições *s* (cm) em uma coluna e os tempos *t* (s) em outra. Se necessário, retome o conceito de média estatística estudado em Matemática nos anos finais do Ensino Fundamental.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

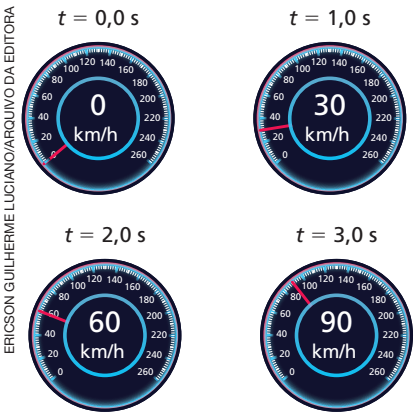
Bolinha sendo largada no recipiente com água pigmentada.

- Repita o procedimento medindo agora os intervalos de tempo gastos por outras bolinhas para percorrer, respectivamente, o terço intermediário e o terço final do comprimento da proveta. Repita essa ação algumas vezes para cada um dos trechos, calcule os valores médios e registre em seu caderno os dados do espaço, em centímetro, correspondente a cada intervalo de tempo medido, em segundo.

1. Comparando os intervalos de tempo para que bolinhas percorram as três distâncias sucessivas e iguais, o que é possível concluir a respeito do movimento delas? 1. Que o movimento é uniforme.
2. Estabeleça um critério de determinação das velocidades escalares médias das bolinhas e compare os correspondentes resultados.
2. Dividir os deslocamentos pelos intervalos de tempo.
3. Com base nos dados coletados para os intervalos de tempo associados aos deslocamentos das bolinhas em cada um dos três trechos, determine a velocidade escalar (média), em cm/s, para cada um dos trechos e escreva as funções horárias do espaço correspondentes. 3. Espera-se que os estudantes calculem a velocidade por meio da fórmula.
4. Se as bolinhas de gude fossem substituídas por bolinhas de aço maciças ligeiramente maiores que as de gude, que alteração significativa você notaria no experimento? 4. Maior velocidade das bolinhas.

Movimento uniformemente variado (MUV)

Imagine que um carro de corrida acabou de largar e começou a acelerar. Em uma competição, os carros começam a acelerar assim que é dada a largada. A figura a seguir mostra o velocímetro de um carro de corrida em diferentes instantes de tempo.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do velocímetro de um carro de corrida em diferentes instantes. (Imagem sem escala.)

Analisando o velocímetro do automóvel, percebemos que a velocidade escalar instantânea se altera de forma constante em intervalos de tempo iguais. Portanto, ao calcular a aceleração escalar do carro de corrida, o valor será sempre o mesmo, ou seja, a aceleração escalar será constante. Nesse caso, temos um **movimento uniformemente variado (MUV)**.

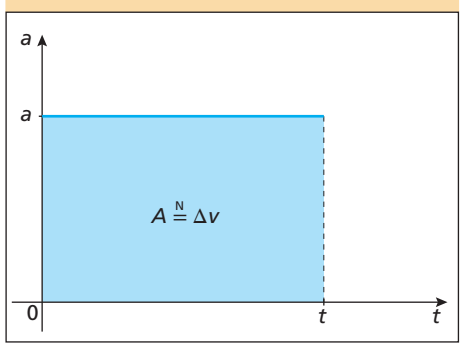
Funções horárias no MUV

Diferentemente do que ocorre no movimento uniforme (MU), em que a aceleração escalar é constante e nula, no MUV a aceleração escalar é constante e não nula. Assim, podemos definir a **função horária da aceleração escalar** como:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ (constante)}$$

A curva que representa a função horária da aceleração escalar é uma reta paralela ao eixo *t* (eixo das abscissas), conforme o gráfico a seguir.

Gráfico de *a* × *t* no MUV



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da aceleração escalar (*a*) em função do tempo (*t*) para um movimento uniformemente variado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que a área A sob a reta do gráfico é numericamente igual à variação da velocidade escalar no intervalo de tempo correspondente. Logo, temos a equivalência a seguir.

$$A \overset{N}{=} \Delta v$$

Pela definição de aceleração escalar média, podemos obter a função horária da velocidade escalar para o movimento uniformemente variado.

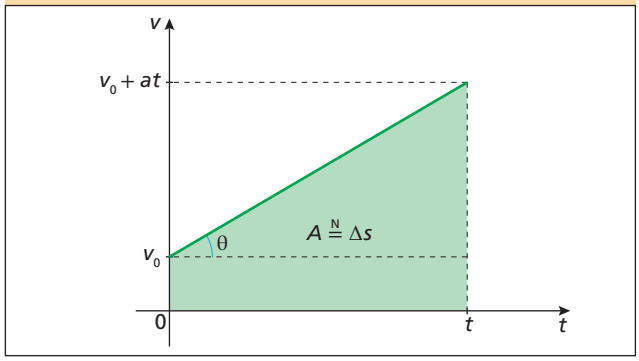
$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \Rightarrow a \cdot (t - t_0) = v - v_0$$

Em que v_0 é a velocidade no instante t_0 e v é a velocidade em um instante posterior t. Adotando-se $t_0 = 0$ na expressão anterior, definimos a **função horária da velocidade escalar**.

$$a \cdot (t - t_0) = v - v_0 \Rightarrow a \cdot t = v - v_0 \Rightarrow v = v_0 + a \cdot t$$

A curva que representa a função horária da velocidade escalar, que é uma função do 1º grau, é uma reta oblíqua, inclinada em relação ao eixo t (eixo das abscissas), como mostra o gráfico a seguir.

Gráfico de $v \times t$ no MUV



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da velocidade escalar (v) em função do tempo (t) para um movimento uniformemente variado.

A inclinação da reta (declividade) é dada pela tangente do ângulo θ e é numericamente igual à aceleração escalar do corpo em MUV.

Portanto:

$$\text{tg}\,\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \text{tg}\,\theta \overset{N}{=} a$$

Com base no gráfico de $v \times t$, também podemos obter a variação do espaço (Δs) no intervalo de tempo correspondente, já que a área abaixo da reta é numericamente igual à variação do espaço.

$$A \overset{N}{=} \Delta s$$

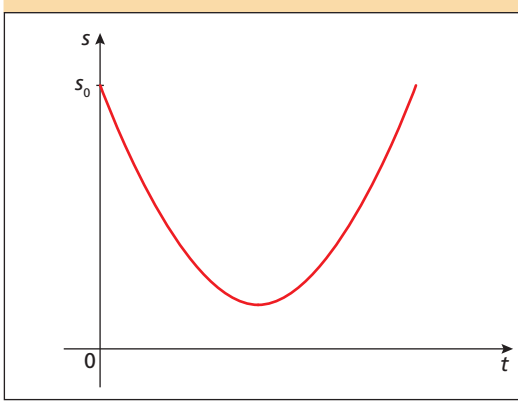
Note que a área total A abaixo da reta (em verde) é dada pela soma da área de um triângulo com a área de um retângulo. Assim, podemos definir a **função horária do espaço**:

$$\Delta s \overset{N}{=} A_{\text{retângulo}} + A_{\text{triângulo}} \Rightarrow \Delta s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t \cdot t}{2} \Rightarrow s - s_0 = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Em que s_0, o espaço inicial, corresponde à posição no instante t_0 e o espaço s corresponde à posição em um instante posterior t.

A função horária do espaço no MUV é uma função do 2º grau; logo, a curva que a representa é uma parábola. No MUV, o corpo não percorre espaços iguais em intervalos de tempos iguais por causa da variação da velocidade escalar. O gráfico a seguir mostra como varia o espaço s em função do tempo t no MUV.

Gráfico de $s \times t$ no MUV



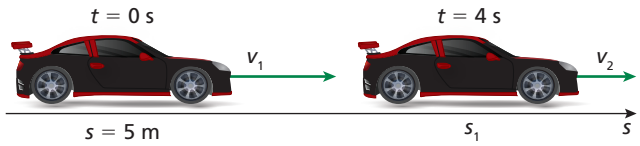
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico do espaço (s) em função do tempo (t) para um movimento uniformemente variado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Um carro de corrida tem de diminuir sua velocidade escalar, conforme a figura a seguir, e está em MUV entre os instantes de tempo $t = 0$ s e $t = 4$ s em uma trajetória retilínea.



Representação esquemática de um carro de corrida em MUV. (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Supondo que $v_1 = 10$ m/s e $v_2 = 5$ m/s, qual é o valor da aceleração escalar?

O valor da aceleração escalar é dado por:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{5\text{ m/s} - 10\text{ m/s}}{5\text{ s} - 0\text{ s}} \Rightarrow a = \frac{-5\text{ m/s}}{5\text{ s}} \therefore a = -1\text{ m/s}^2$$

b. Qual é a função horária da velocidade escalar?

A função horária da velocidade é dada por:

$v = v_0 + a \cdot t \therefore v = 10 - 1t$ (SI)

c. Qual é a função horária do espaço?

A função horária do espaço é dada por:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2} \therefore s = 5 + 10t - \frac{t^2}{2}\text{ (SI)}$$

d. Determine o espaço s_1 associado ao instante $t = 4$ s.

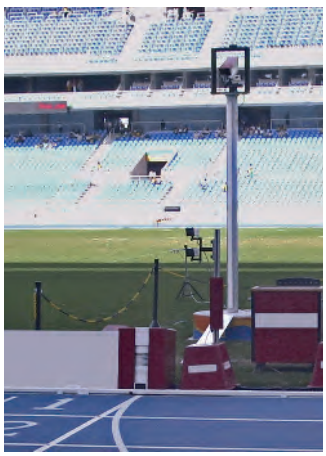
O espaço associado ao instante $t = 4$ s é determinado por:

$$s = 5 + 10t - \frac{t^2}{2} \Rightarrow s_1 = 5\text{ m} + 10\text{ m/s} \cdot 4\text{ s} - \frac{1\text{ m/s}^2 \cdot (4\text{ s})^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_1 = 5\text{ m} + 40\text{ m} - 8\text{ m} \therefore s_1 = 37\text{ m}$$

Movimento acelerado e movimento retardado

Quando um corpo descreve certo movimento, o módulo de sua velocidade escalar pode aumentar ou diminuir. Quando o módulo da velocidade escalar aumenta, dizemos que o corpo está em **movimento acelerado**, ou seja, a velocidade escalar e a aceleração escalar estão orientadas no mesmo sentido (*v* e *a* têm o mesmo sinal) e o corpo está em processo de arrancada. Quando o módulo da velocidade diminui, dizemos que o corpo está em **movimento retardado**, ou seja, a velocidade escalar e a aceleração escalar estão orientadas em sentidos opostos (*v* e *a* têm sinais opostos) e o corpo está em processo de frenagem.



ANDRÉ HECKER/CC BY 1.0/WIKIMEDIA FOUNDATION

Equipamento de cronometragem automático usado em competições de atletismo.

Equação de Torricelli

Você já reparou como a variável tempo (*t*) é importante no esporte? Isso ocorre porque diversas modalidades definem o vencedor em função do tempo, como o atletismo, que utiliza sofisticados dispositivos com câmeras e sensores para detectar o tempo exato de chegada de cada atleta. Geralmente, associamos o tempo a qualquer movimento.

Porém, em muitas análises em MUV, temos as velocidades escalares (inicial e final) e desejamos obter o deslocamento em função da aceleração escalar envolvida, ou vice-versa, sem que o tempo tenha sido dado. Para isso, podemos usar a **equação de Torricelli**, nomeada em homenagem ao físico e matemático italiano Evangelista Torricelli (1608-1647).

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

Se achar conveniente, apresente a dedução da equação de Torricelli aos estudantes a partir das funções horárias da velocidade escalar e do espaço no MUV.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considere um carro de corrida que desenvolve inicialmente a velocidade escalar de 15,0 m/s. O piloto freia repentinamente com aceleração escalar constante, e o veículo para por completo após percorrer 10,0 m.

a. Qual é a aceleração escalar durante a frenagem?

A aceleração escalar pode ser calculada com base na equação de Torricelli.

$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 0^2 = (15{,}0\ \text{m/s})^2 + 2 \cdot a \cdot 10{,}0\ \text{m} \Rightarrow$

$\Rightarrow 20{,}0\ \text{m} \cdot a = -225{,}0\ \text{m}^2/\text{s}^2 \Rightarrow a = -\dfrac{225{,}0\ \text{m}^2/\text{s}^2}{20{,}0\ \text{m}} \therefore a \simeq -11{,}3\ \text{m/s}^2$

b. Quanto tempo o veículo leva até parar completamente?

O tempo de frenagem é dado por:

$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow 0 = 15{,}0\ \text{m/s} + (-11{,}3\ \text{m/s}^2) \cdot t \Rightarrow$

$\Rightarrow t = \dfrac{15{,}0\ \text{m/s}}{11{,}3\ \text{m/s}^2} \therefore t \simeq 1{,}3\ \text{s}$

Queda livre

No salto ornamental realizado de uma plataforma, podemos considerar que a queda se inicia praticamente do repouso. Durante essa queda, os atletas executam complexas contorções, mas o movimento resultante, considerando-se seu centro de massa próximo ao umbigo, é praticamente igual ao de um pequeno objeto que despenca sem influências significativas do ar. Quando a queda tem início em determinada altura e ocorre sem resistência do ar, ela é chamada de **queda livre**. Próximo à superfície da Terra, os corpos estão sujeitos à aceleração da gravidade (g). De maneira geral, todos os objetos atravessam uma camada de ar ao cair em direção ao solo. A resistência do ar pode ser maior ou menor dependendo do corpo; por exemplo, uma folha de papel A4 caindo aberta é submetida a uma força de resistência do ar que cresce mais rapidamente do que quando a folha despenca embolada. Por isso, partindo do repouso e caindo da mesma altura inicial, se estiver aberta, a folha apresenta tempo de queda maior do que se estiver embolada.

Desprezando-se a resistência do ar nas proximidades da superfície da Terra, podemos afirmar que o movimento descrito por corpos em queda livre vertical é um MUV, sujeito à aceleração da gravidade terrestre (g), que tem valor $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$, podendo ser aproximado para $g = 10\ \text{m/s}^2$. Nesta obra, vamos adotar $g = 10\ \text{m/s}^2$ para a intensidade da aceleração da gravidade na Terra, a não ser que haja outra indicação.

JOE ROBBINS/NCAA PHOTOS/GETTY IMAGES

Atleta Cameron Cash saltando de uma plataforma de mergulho (Indianápolis, Estados Unidos, 2024).

Orientação da trajetória no movimento vertical

Para estudar os movimentos na direção vertical, é preciso orientar a trajetória, ou seja, atribuir a ela um sentido positivo. Por exemplo, vamos adotar como positivo o sentido para cima; assim, quando o objeto se desloca para cima, o sinal de sua velocidade escalar é positivo, mas, quando se desloca para baixo, o sinal de sua velocidade escalar é negativo. Note que, nessa situação, com a aceleração da gravidade dirigida para baixo, a aceleração escalar tem sinal negativo.

No entanto, em algumas situações, quando conveniente, a orientação da trajetória pode ser invertida. Assim, orientando-se positivamente a trajetória para baixo, ocorre a inversão dos sinais das variáveis.

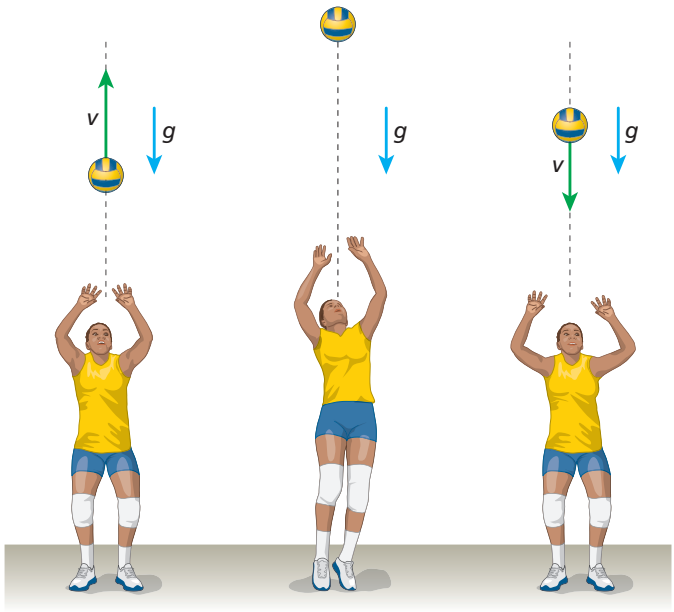
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lançamento vertical

Durante um treino de voleibol, uma atleta pratica o movimento chamado toque, um dos fundamentos da modalidade, lançando verticalmente para cima a bola, que depois de certo intervalo de tempo retorna às suas mãos. Nesse caso, a bola tem um movimento ascendente antes de iniciar a queda.

Situações cinemáticas como essa podem ser descritas desde o início do lançamento até o momento em que o objeto retorna ao ponto de partida. Podemos considerar, porém, dois movimentos distintos: o de subida e o de descida. Enquanto o objeto sobe, o módulo de sua velocidade escalar diminui em razão de a aceleração da gravidade estar orientada no sentido oposto ao da velocidade (movimento retardado). Quando o objeto atinge a altura máxima, sua velocidade escalar se anula instantaneamente e ocorre inversão no sentido do movimento. Então, o objeto começa a descer e o módulo de sua velocidade fica cada vez maior (movimento acelerado), pois, nesse caso, a aceleração da gravidade está orientada no mesmo sentido da velocidade escalar.

Desprezada a resistência do ar, o movimento da bola na vertical é um MUV. Quando a bola é lançada, a velocidade tem sentido contrário ao da aceleração, ocorrendo um movimento retardado. Depois de a bola atingir o ponto de altura máxima, no qual a velocidade escalar se anula, a velocidade muda de sentido e passa a ter o mesmo sentido da aceleração, ocorrendo um movimento acelerado.



Movimento vertical da bola sob a ação exclusiva da gravidade após o toque.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Uma bola é lançada para o alto com velocidade escalar de 5,0 m/s por uma jogadora de vôlei. Considerando a resistência do ar desprezível e sabendo que a aceleração da gravidade tem módulo de 10,0 m/s^2 e que a jogadora lançou a bola a partir dos 2,0 m de altura, determine:

a. a altura máxima atingida pela bola;

Para calcular a altura máxima da bola, usamos a equação de Torricelli. A velocidade escalar no ponto de altura máxima da trajetória é de 0 m/s. Orientando-se a trajetória para cima, vem:

$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 0^2 = (5{,}0\ \text{m/s})^2 + 2 \cdot (-10{,}0\ \text{m/s}^2) \cdot \Delta s \Rightarrow$

$\Rightarrow 0 - 25{,}0\ \text{m}^2/\text{s}^2 = -20{,}0\ \text{m/s}^2 \cdot \Delta s \Rightarrow \Delta s = \dfrac{-25{,}0\ \text{m}^2/\text{s}^2}{-20{,}0\ \text{m/s}^2} \therefore \Delta s \simeq 1{,}3\ \text{m}$

Como a jogadora lançou a bola a partir dos 2,0 m de altura, a altura máxima da bola será:

$h_{máx.} \simeq 2{,}0\ \text{m} + 1{,}3\ \text{m} \therefore h_{máx.} \simeq 3{,}3\ \text{m}$

b. o tempo de subida da bola até a altura máxima;

O tempo de subida pode ser calculado pela função horária da velocidade escalar:

$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow 0 = 5{,}0\ \text{m/s} + (-10{,}0\ \text{m/s} \cdot t) \Rightarrow t = \frac{-5{,}0\ \text{m/s}}{-10{,}0\ \text{m/s}^2} \therefore t_{subida} = 0{,}5\ \text{s}$$

c. o tempo de descida da bola até o ponto inicial.

O tempo de descida pode ser calculado pela função horária do espaço. Considerando $s = s_0 = 0$, pois a bola sai da origem dos espaços e retorna a esse mesmo ponto (mão da jogadora), podemos calcular o tempo total que a bola levou para subir e descer. Logo:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow 0 = 0 + 5{,}0\ \text{m/s} \cdot t + \frac{(-10{,}0\ \text{m/s}^2) \cdot t^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5{,}0\ \text{m/s} \cdot t = 5{,}0\ \text{m/s}^2 \cdot t^2 \Rightarrow 5{,}0\ \text{m/s} = 5{,}0\ \text{m/s}^2 \cdot t \therefore t_{total} = 1{,}0\ \text{s}$$

Como o tempo de subida é 0,5 s, para determinar o tempo de descida, basta subtrair o tempo de subida do tempo total. Assim:

$$t_{descida} = t_{total} - t_{subida} \Rightarrow t_{descida} = 1{,}0\ \text{s} - 0{,}5\ \text{s} \therefore t_{descida} = 0{,}5\ \text{s}$$

Note que o tempo de descida e o tempo de subida são iguais, já que consideramos a resistência do ar desprezível; portanto, ocorre uma total simetria entre os movimentos de descida e subida.

Aplique e registre

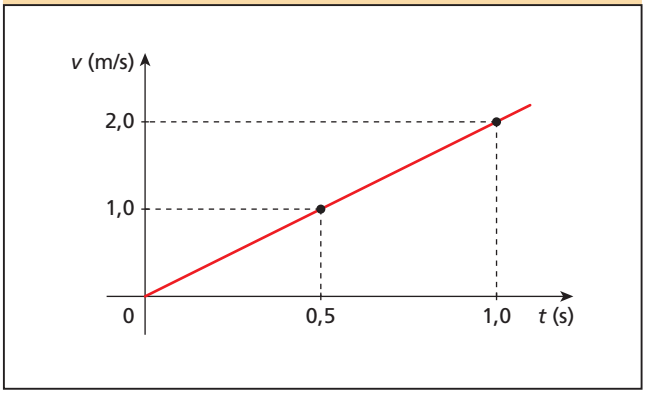
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

8. Um carrinho de brinquedo de fricção, depois de ser deslocado para trás para acumular energia potencial elástica em seus mecanismos, parte do repouso e adquire um movimento retilíneo uniformemente acelerado, conforme o gráfico da velocidade escalar em função do tempo a seguir.

8. a. 2,0 m/s²
8. b. 0,75 m

Gráfico de $v \times t$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da velocidade escalar (v) em função do tempo (t) para o movimento retilíneo uniformemente acelerado do carrinho de brinquedo.

a. Qual é o módulo da aceleração escalar adquirida pelo carrinho?

b. Qual é a distância percorrida por ele no intervalo de $t_1 = 0{,}5$ s a $t_2 = 1{,}0$ s?

9. Depois de fazer o taxiamento no aeroporto, um avião se posiciona na cabeceira da pista para a decolagem. Recebida a autorização da torre de controle, a aeronave parte do repouso com aceleração escalar constante de módulo 4 m/s², percorrendo uma trajetória retilínea e horizontal durante 20 s, quando alça voo, perdendo o contato com o solo. Determine:

9. a. 288 km/h
9. b. 800 m

a. a intensidade da velocidade do avião ao perder o contato com o solo, em km/h;

b. a distância percorrida pela aeronave na pista durante a decolagem, em m.

10. Considere que um objeto cai verticalmente a partir do repouso de uma altura de 3,2 m. No local, a influência do ar é desprezível, e adota-se para o módulo da aceleração da gravidade o valor $g = 10{,}0$ m/s². Calcule:

10. a. 0,8 s
10. b. 8,0 m/s

a. o tempo de queda do objeto até o solo;

b. a intensidade da velocidade final do objeto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Leia o texto a seguir e faça o que se pede.

[...]

Em outubro de 2012, o austríaco Felix Baumgartner saltou em queda livre da estratosfera após ser levado por um balão até uma altura aproximada de 36 km. Na queda, que durou 4 minutos e 20 segundos, o paraquedista atingiu a velocidade [máxima] de 373 m/s, tornando-se a primeira pessoa a romper a barreira do som com o próprio corpo.

[...] Lembre os estudantes que a intensidade da velocidade do som no ar é cerca de 343 m/s ou 1.235 km/h.

Fonte: SILVA JÚNIOR, J. S. da. Rompendo a barreira do som. **Mundo Educação**, [*S. l.*, 20--], Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/rompendo-barreira-som.htm. Acesso em: 14 jun. 2024.

ABACA PRESS/ALAMY/FOTOARENA

Paraquedista austríaco Felix Baumgartner no início do salto da estratosfera em 14 de outubro de 2012.

Determine o valor aproximado da velocidade escalar média de Felix Baumgartner durante esse salto, em m/s. 1. ≃ 138 m/s

2. Existem cerca de sete importantes rotas de migração de aves no mundo, e duas delas passam pelo Brasil. Milhares de pássaros deixam periodicamente seus locais de origem e voam em bandos em busca de alimento e melhores condições climático-ambientais.

De todas as aves que realizam extensas migrações, a campeã é a andorinha-do-mar-ártico, que percorre em trajetórias não retilíneas cerca de 40 mil km no fim do verão, ao abandonar as costas árticas, evitando o inverno no hemisfério Norte, e se dirigir às costas antárticas, onde chega após cerca de três meses, no verão do hemisfério Sul. No começo do outono na Antártica, a andorinha-do-mar-ártico inicia o retorno aos locais de reprodução no Ártico, percorrendo então igual distância.

FRANK FICHTMÜLLER/GETTY IMAGES

Andorinhas-do-mar-ártico (*Sterna paradisaea*).

a. Com base no texto, verifique o tempo gasto por uma andorinha-do-mar-ártico para migrar do Ártico à Antártica e calcule sua velocidade escalar média aproximada nessa viagem, em km/h. 2. a. 18,5 km/h

b. Admitindo-se que durante 20,0 s a velocidade escalar de determinada andorinha-do-mar-ártico aumente de 5,0 m/s para 15,0 m/s, determine o módulo de sua aceleração escalar média nesse intervalo de tempo. 2. b. 0,5 m/s²

3. Na situação de máxima aproximação entre a Terra e Marte, a distância entre os dois planetas é de cerca de 54,6 milhões de quilômetros. Um veículo de exploração na superfície de Marte envia uma imagem fotográfica para a Terra por ondas de rádio, que se propagam através do espaço com velocidade escalar constante igual a $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Determine o intervalo de tempo que essa imagem leva para chegar à Terra. 3. ≃ 182 s ou ≃ 3 min 2 s

4. Um longo trem de carga constituído por duas locomotivas mais 48 vagões trafega com velocidade escalar constante de módulo 54 km/h enquanto atravessa um túnel de 400 m de extensão. As locomotivas, bem como cada um dos vagões, têm comprimento de 10 m, e a distância entre dois elementos sucessivos do comboio é desprezível. Determine o intervalo de tempo necessário para o trem atravessar completamente o túnel. 4. 1,0 min

5. Dois ciclistas, *A* e *B*, pedalam suas bicicletas em sentidos opostos ao longo de uma ciclovia retilínea dotada de marcações métricas ao longo de toda a sua extensão. As velocidades escalares de *A* e de *B* têm módulos constantes, respectivamente iguais a 18 km/h e 5,4 km/h.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das posições dos ciclistas *A* e *B* no instante $t_0 = 0$. (Imagem sem escala.)

Considere que, no instante $t_0 = 0$ em que o ciclista *A* passa pela marca 0 m da ciclovia, o ciclista *B* passa pela marca 130 m.

a. Determine o instante e a posição na ciclovia em que ocorre o encontro dos dois ciclistas.

b. Trace em um mesmo sistema de eixos cartesianos os gráficos $s \times t$ para os movimentos dos dois ciclistas.

6. Dois carros, *A* e *B*, trafegam em uma pista retilínea com velocidades de módulos constantes respectivamente iguais a 108 km/h e 72 km/h e, em determinado instante, estão separados por 2 km. Levando-se em conta as situações a seguir, determine, a partir desse instante, a distância percorrida pelo carro *A* em relação ao solo até se encontrar na pista com o carro *B*.

5. a. 20 s; 100 m

5. b. Gráfico com retas oblíquas, ciclista 1 progressivo e ciclista 2 retrógrado.

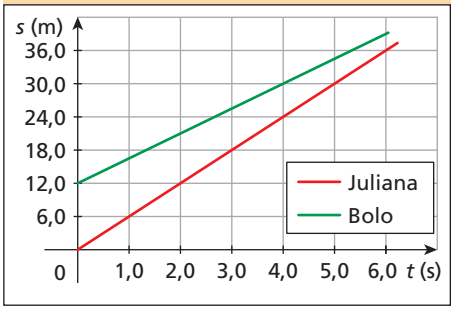
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a. Situação 1: os carros trafegam no mesmosentido, com *A* atrás de *B*. 6. a. 6 km

b. Situação 2: os carros trafegam em sentidos opostos, com *A* indo de encontro a *B*. 6. b. 1,2 km

7. O gráfico a seguir indica a posição de Juliana e seu cão Bolo no instante $t_0 = 0$. Os dois estão em movimento uniforme ao longo de trajetórias retilíneas e paralelas, igualmente escalonadas e orientadas, de acordo com o gráfico $s \times t$. Com base nessas informações, determine: 7. a. 8,0 s 7. b. 36,0 m

Gráfico de $s \times t$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico do espaço (*s*) em função do tempo (*t*) para o movimento de Juliana e de Bolo.

a. em que instante t_E ocorre o encontro entre Juliana e Bolo;

b. a que distância *D* da posição inicial de Bolo ocorre a interceptação.

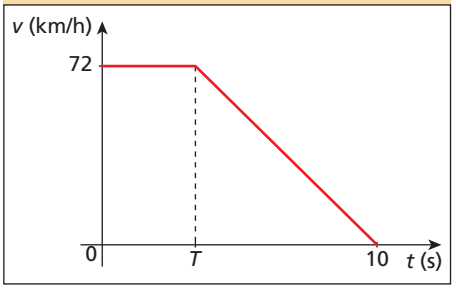
8. *Dragsters* são veículos especiais projetados para competições de arrancadas. Eles atingem altíssimas velocidades ao final de percursos retilíneos relativamente curtos, precisando muitas vezes do auxílio de paraquedas em sua frenagem. Na demonstração de certo fabricante, um desses veículos partiu do repouso acelerando em linha reta com aceleração escalar de módulo constante 8,0 m/s². Ao fim de 15 s de arrancada, determine:

a. a intensidade da velocidade atingida pelo *dragster*, em km/h; 8. a. 432 km/h 8. b. 900 m

b. a distância percorrida pelo protótipo.

9. Dirigindo a 72 km/h ao longo de uma estrada retilínea, um motorista avista a uma distância $D = 104$ m uma queda de barreira. Após um tempo de reação *T*, ele freia uniformemente seu veículo, parando junto ao obstáculo, depois de 10 s da visualização do perigo. O gráfico da velocidade escalar do carro em função do tempo é dado.

Gráfico de $v \times t$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da velocidade escalar (*v*) em função do tempo (*t*) para o movimento do carro.

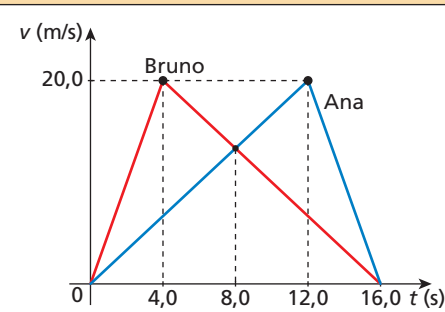
Determine: 9. a. 0,4 s 9. b. 2,1 m/s²

a. o valor de *T*;

b. o módulo da aceleração entre *T* e 10 s.

10. Ana e Bruno são praticantes de ciclismo e certo dia decidiram apostar uma corrida ao longo de uma pista retilínea e horizontal. Ambos partiram do repouso de um mesmo local e, depois de 16,0 s (duração total da prova), voltaram ao repouso, porém, mediante estratégias diferentes, como indica o diagrama a seguir.

Gráfico de $v \times t$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da velocidade escalar (*v*) em função do tempo (*t*) para o movimento dos ciclistas.

Com base nessas informações, responda às questões a seguir. 10. a. Ana e Bruno empataram. 10. b. Ambas têm valor 10,0 m/s. 10. c. 53,4 m

a. Quem venceu a corrida: Ana ou Bruno? Justifique sua resposta.

b. Quais foram as velocidades escalares médias de Ana e de Bruno durante os 16,0 s?

c. Qual foi a distância *x* entre Ana e Bruno no instante em que suas velocidades escalares se igualaram?

11. Com apenas seis milímetros de comprimento, em média, a cigarrinha-da-espuma é a campeã de saltos na natureza, considerando-se as alturas atingidas em seus pulos em relação às dimensões do inseto, superando pulgas e gafanhotos. A espuma produzida é uma proteção contra predadores.

TOMASZ KLEJDYSZ/SHUTTERSTOCK

Cigarrinha-da-espuma (*Philaenus spumarius*).

Considere uma cigarrinha-da-espuma que salta verticalmente para cima, atingindo uma altura máxima de 45,0 cm. Desprezando-se a influência do ar e adotando-se para a aceleração da gravidade módulo 10,0 m/s², determine:

a. a intensidade da velocidade inicial do animal;

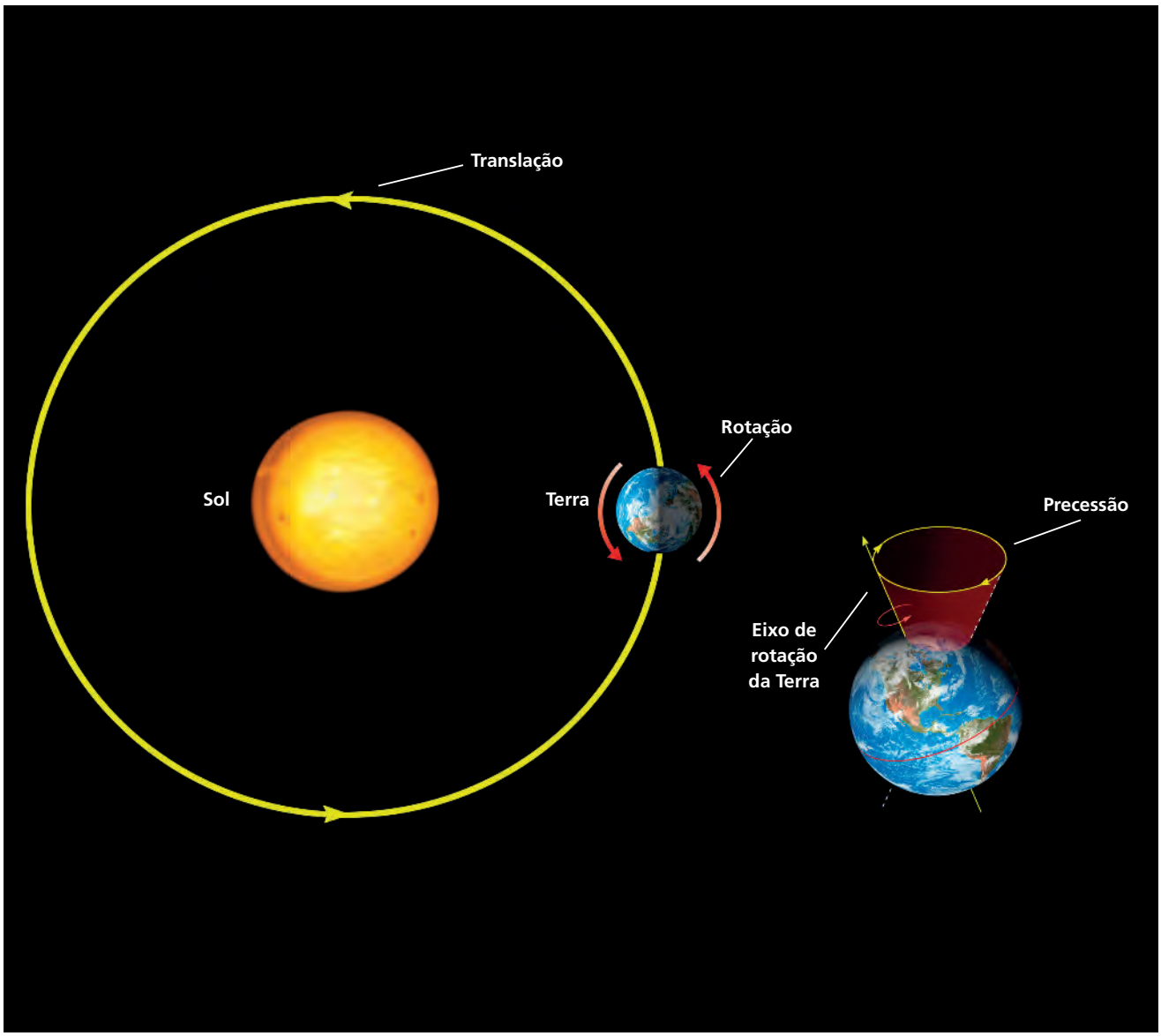
b. o tempo de subida.

11. a. 3,0 m/s
11. b. 0,3 s

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 4

Estudo vetorial do movimento



MARK GARLICK/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Representação esquemática dos movimentos de translação, rotação e precessão da Terra em sua órbita em torno do Sol. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O movimento do planeta Terra é um tanto complexo e, para estudá-lo, é comum sua decomposição em movimentos distintos, entre eles os movimentos de translação (movimento orbital da Terra em torno do Sol), rotação (movimento da Terra ao redor do próprio eixo) e precessão (movimento relacionado à mudança na orientação do eixo de rotação da Terra), que ocorrem simultaneamente.

Neste capítulo, estudaremos operações básicas com vetores, a descrição vetorial das grandezas deslocamento, velocidade e aceleração, bem como os movimentos compostos e os movimentos circulares.

Grandezas escalares e grandezas vetoriais

Suponhamos que o comandante de um barco pesqueiro, que se encontra em repouso em certo ponto em alto-mar, desejando comercializar seus pescados, receba pelo rádio a seguinte mensagem: "Para chegar ao mercado mais próximo, desloque-se 10 km em linha reta a partir de sua posição inicial".

ARTUR CARVALHO/GETTY IMAGES

Barco de pesca em alto-mar (Cascais, Portugal, 2019).

Quantas maneiras esse comandante teria para cumprir essa instrução? Infinitas, seria a resposta, pois ele poderia navegar em qualquer direção. Além da informação da distância a ser percorrida, haveria necessidade de se estabelecer uma direção e um sentido para o deslocamento. A posição do mercado mais próximo seria perfeitamente compreensível se a mensagem transmitida pelo rádio fosse a seguinte: "Para chegar ao mercado mais próximo, desloque-se 10 km em linha reta a partir de sua posição inicial, na direção leste-oeste e no sentido de oeste para leste".

Certas grandezas físicas, como o deslocamento, requerem a indicação de **módulo** ou **intensidade** (valor numérico acompanhado de unidade de medida), **direção** e **sentido** para que sejam definidas. Essas grandezas são chamadas grandezas vetoriais.

As grandezas físicas podem ser classificadas em grandezas escalares e grandezas vetoriais.

Você concorda que a definição de determinado intervalo de tempo é satisfatória quando indicamos somente o valor numérico desse intervalo seguido da devida unidade de medida? Por exemplo, para indicar a duração de uma aula de Física, bastaria dizer que a aula durou 50 minutos. Portanto, podemos concluir que a grandeza tempo é classificada como uma grandeza escalar.

Grandezas escalares são perfeitamente definidas por um valor numérico seguido da unidade de medida correspondente.

O tempo é uma grandeza escalar. São também escalares as grandezas comprimento, massa, área, volume, densidade, pressão, temperatura, energia, potência, carga elétrica, tensão elétrica e intensidade de corrente elétrica, entre outras.

Já o deslocamento, citado no caso do barco de pesca em alto-mar, e a velocidade são grandezas que exigem a indicação de módulo, direção e sentido para sua plena definição.

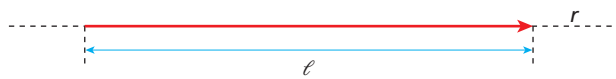
Ao dizer, por exemplo, que determinada bolinha está em movimento com velocidade de intensidade 10 m/s, na vertical e de cima para baixo, explicitamos esses três elementos, caracterizando a velocidade da bolinha como uma grandeza vetorial.

Grandezas vetoriais são perfeitamente definidas por um valor numérico seguido da unidade de medida correspondente – chamado módulo, intensidade ou magnitude –, por uma direção e por um sentido.

A velocidade é uma grandeza vetorial. São também vetoriais as grandezas aceleração, força, impulso, quantidade de movimento (ou momento linear), campo elétrico e campo magnético, entre outras.

Vetor

Vetor é um ente matemático com características algébricas e geométricas utilizado para representar as grandezas vetoriais. Graficamente, ele é traduzido por um segmento orientado (uma seta) que reúne as noções de módulo, direção e sentido.



Representação gráfica de um vetor de comprimento ℓ.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O comprimento ℓ do vetor associa-se ao módulo da grandeza vetorial; a reta suporte *r*, à direção; e a ponta de seta, ao sentido.

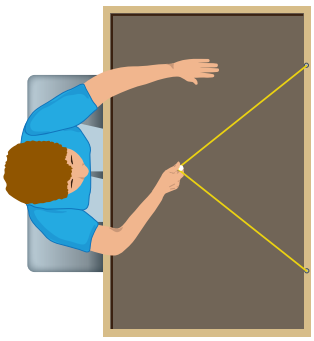
Adição de dois vetores

Para realizar operações matemáticas com grandezas vetoriais, temos que levar em consideração não apenas seu módulo, mas também sua direção e seu sentido. Assim, dois vetores, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, por exemplo, podem ser adicionados, obtendo-se um vetor soma ou resultante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

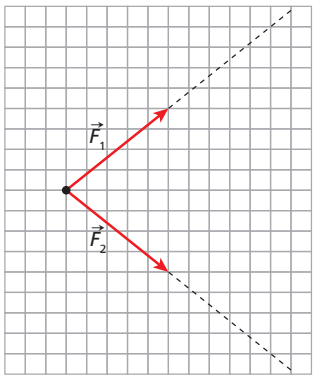
Se achar conveniente, reproduza a atividade em sala com os estudantes para que eles observem o movimento da bolinha e identifiquem a direção e o sentido da força resultante.

A ilustração a seguir mostra um garoto prestes a disparar uma bolinha de papel sobre uma placa rígida horizontal bem lisa. Para isso, ele utiliza uma tira de borracha presa nas suas extremidades. Os segmentos da tira aplicarão na bolinha forças que designaremos $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, respectivamente.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um garoto prestes a disparar uma bolinha de papel com o auxílio de uma tira de borracha esticada.

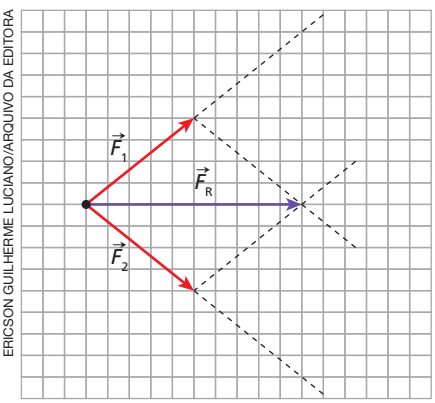


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, vistas de cima, aplicadas na bolinha.

Quando a bolinha for disparada, ela entrará em movimento numa direção intermediária, entre $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, isto é, ela seguirá na direção e no sentido da soma vetorial $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$, denominada **força resultante $\vec{F}_R$**.

O método gráfico utilizado para a determinação de $\vec{F}_R$ é denominado **regra do paralelogramo** e funciona da seguinte maneira: da extremidade de $\vec{F}_1$, traçamos uma reta paralela a $\vec{F}_2$, e da extremidade de $\vec{F}_2$, traçamos uma reta paralela a $\vec{F}_1$.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da determinação da força resultante $\vec{F}_R$.

Construímos, dessa forma, um paralelogramo. O vetor força resultante $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ é dado pela diagonal desse paralelogramo.

Lei dos cossenos

Retomando a situação anterior, seja θ o ângulo formado entre os vetores das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ e admitindo que os módulos desses vetores sejam F_1 e F_2, respectivamente, vamos determinar o módulo do vetor resultante $\vec{F}_R$.

O módulo da força resultante $\vec{F}_R$ pode ser determinado aplicando-se a expressão matemática denominada **lei dos cossenos**, que relaciona os três lados de um triângulo a um de seus ângulos.

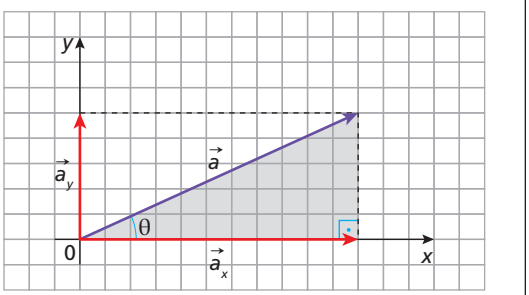
$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta \Rightarrow$$
$$\Rightarrow F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta}$$

Decomposição de vetores

Assim como podemos adicionar dois vetores obtendo um vetor soma ou resultante, também é possível a operação inversa, isto é, dado determinado vetor, podemos obter seus componentes. Esses vetores componentes, uma vez adicionados vetorialmente, resultam no vetor original.

Trataremos aqui apenas da decomposição de um vetor em componentes perpendiculares entre si. Consideremos um vetor $\vec{a}$ e dois eixos de referência $0x$ e $0y$ perpendiculares entre si, como mostra a figura a seguir.

Componentes do vetor $\vec{a}$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos componentes do vetor $\vec{a}$ nos eixos x e y.

Os vetores $\vec{a}_x$ e $\vec{a}_y$, projeções ortogonais de $\vec{a}$ sobre os eixos $0x$ e $0y$, respectivamente, são as componentes do vetor $\vec{a}$ nessas duas direções, tal que:

$$\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y$$

Para estabelecer relações entre os módulos dos vetores $\vec{a}$, $\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$ e o ângulo θ entre o eixo horizontal $0x$ e o vetor $\vec{a}$, indicado na figura, podem ser aplicadas as seguintes relações métricas e trigonométricas do triângulo retângulo.

$$a^2 = a_x^2 + a_y^2 \text{ (teorema de Pitágoras)}$$

$$\cos\theta = \frac{a_x}{a} \Rightarrow a_x = a \cdot \cos\theta$$

$$\operatorname{sen}\theta = \frac{a_y}{a} \Rightarrow a_y = a \cdot \operatorname{sen}\theta$$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{a_y}{a_x} \Rightarrow a_y = a_x \cdot \operatorname{tg}\theta$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

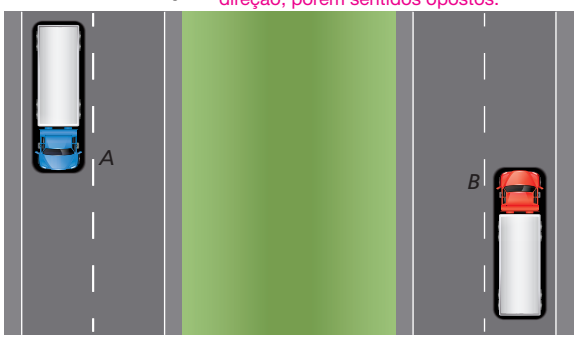
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Cite três exemplos de grandezas escalares e três exemplos de grandezas vetoriais que você identifica em situações do cotidiano. 1. Respostas possíveis. Grandezas escalares: comprimento, massa e tempo. Grandezas vetoriais: deslocamento, velocidade e força.

2. Dois caminhões, *A* e *B*, trafegam ao longo de uma mesma autoestrada retilínea, de pista dupla, com seus velocímetros devidamente aferidos fornecendo rigorosamente a mesma indicação. 2. Elas têm a mesma intensidade e a mesma direção, porém sentidos opostos.

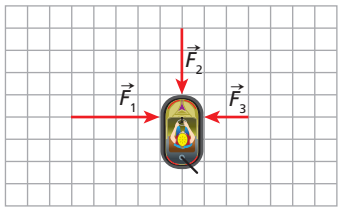


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação dos caminhões *A* e *B* trafegando em uma autoestrada de pista dupla (vista de cima). (Imagem sem escala.)

Como você caracteriza, comparativamente, as velocidades vetoriais dos veículos *A* e *B*?

3. Em um parque de diversões, uma pessoa brinca em um carrinho bate-bate. Em determinado instante, ela encontra-se parada na pista quando três carrinhos pilotados por seus amigos chocam-se simultaneamente contra seu carrinho, provocando forças constantes $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$, como mostra a figura. 3. Alternativa **d**.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação das forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ que atuam sobre o carrinho bate-bate devido ao choque.

O vetor que representa a direção e o sentido da força resultante dessas três forças é representado em qual dos itens a seguir?

a.

b.

c.

d.

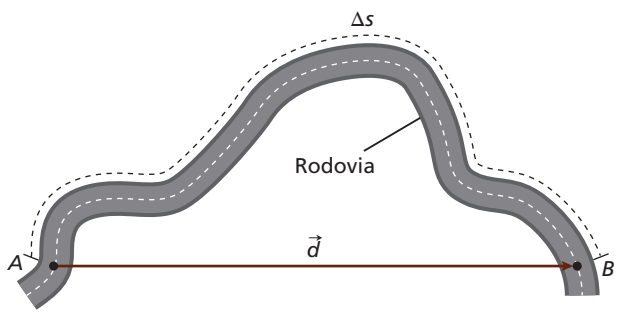
e.

Deslocamento, velocidade e aceleração vetoriais

Neste tópico, vamos aprofundar o estudo do movimento, introduzindo os conceitos de deslocamento, velocidade e aceleração vetoriais. Essas grandezas não apenas nos dirão quão longe um objeto se moveu ou quão rápido ele está indo, mas também em qual direção e sentido.

Deslocamento vetorial

Considere um carro percorrendo a rodovia sinuosa representada a seguir, viajando do ponto *A* ao ponto *B*.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do deslocamento vetorial $\vec{d}$ e do deslocamento escalar Δs do carro que se move pela rodovia. (Imagem sem escala.)

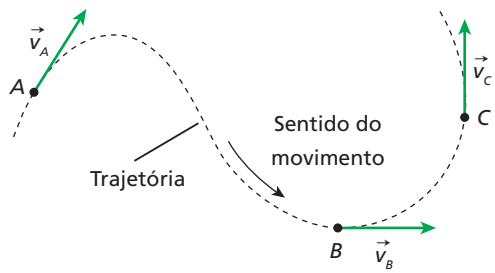
O **deslocamento vetorial** $\vec{d}$ de uma partícula em certo intervalo de tempo é o vetor que tem origem na posição inicial e extremidade na posição final.

Comparando-se o deslocamento vetorial, $\vec{d}$, com o deslocamento escalar (ou variação de espaço), Δs, pode-se notar que $|\vec{d}| \leqslant |\Delta s|$. Ocorrerá a igualdade quando a trajetória for retilínea.

Porém, se a posição final coincidir com a posição inicial, o deslocamento vetorial será nulo, como no caso de um carro de Fórmula 1, que dá uma volta completa em um circuito fechado, retornando à posição de partida.

Velocidade vetorial

Admitamos agora uma partícula que percorre uma trajetória curvilínea como a indicada a seguir, passando pelos pontos *A*, *B* e *C*, nessa ordem.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do vetor velocidade de uma partícula em diferentes pontos de uma trajetória curvilínea.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **velocidade vetorial $\vec{v}$** da partícula em certo instante é o vetor tangente à trajetória no ponto considerado, orientado no sentido do movimento e com módulo igual ao da velocidade escalar instantânea.

Estão representadas no esquema as velocidades vetoriais instantâneas $\vec{v}_A$, $\vec{v}_B$ e $\vec{v}_C$, respectivamente, nos pontos *A*, *B* e *C*.

Quando o módulo, a direção e o sentido de uma grandeza vetorial forem todos constantes, podemos dizer que essa grandeza é constante. Isso significa que, no caso da partícula que percorre a trajetória curvilínea, ainda que o movimento seja uniforme, a velocidade vetorial não é constante, já que muda de direção de um ponto a outro da trajetória. O único movimento em que a velocidade vetorial é constante é o movimento retilíneo e uniforme.

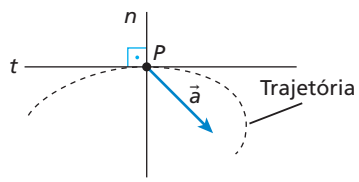
Velocidade vetorial média

A velocidade vetorial média ($\vec{v}_m$) é dada pela razão entre o deslocamento vetorial ($\vec{d}$) e o intervalo de tempo (Δt) correspondente a esse deslocamento.

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

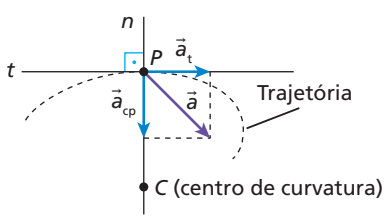
Aceleração vetorial

Considere $\vec{a}$ a aceleração vetorial de uma partícula em um ponto *P* de uma trajetória curvilínea em determinado instante, devido à ação da resultante das forças que agem na partícula em *P*.



Representação esquemática do vetor aceleração $\vec{a}$ de uma partícula em um ponto *P* de uma trajetória curvilínea.

Decompondo-se o vetor $\vec{a}$ nas direções tangencial e normal, representadas na figura a seguir pelas retas perpendiculares *t* e *n*, respectivamente, obtemos as componentes $\vec{a}_t$ e $\vec{a}_{cp}$, denominadas, respectivamente, **aceleração tangencial** e **aceleração centrípeta** (por estar dirigida para o centro de curvatura *C* da trajetória em cada instante) ou **normal**.



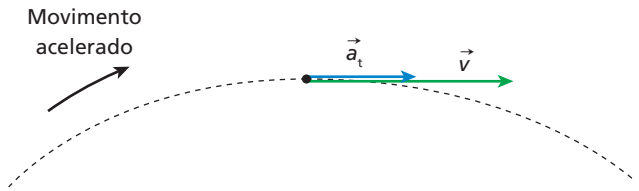
Representação esquemática das componentes do vetor aceleração $\vec{a}$: aceleração tangencial ($\vec{a}_t$) e aceleração centrípeta ($\vec{a}_{cp}$).

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A aceleração tangencial $\vec{a}_t$ está associada às mudanças da velocidade vetorial em intensidade e seu módulo é sempre igual ao valor absoluto da aceleração escalar instantânea.

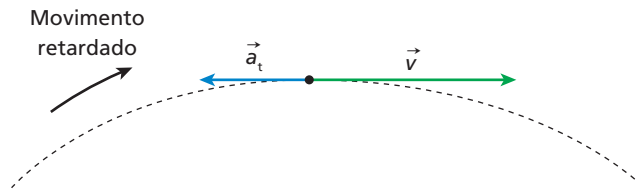
$$|\vec{a}_t| = |a|$$

Nos movimentos uniformes, $a = 0$, logo $\vec{a}_t = \vec{0}$. Nos movimentos acelerados, $\vec{a}_t$ tem a mesma direção e o mesmo sentido de $\vec{v}$, como representa o esquema a seguir.



Representação esquemática dos vetores aceleração tangencial ($\vec{a}_t$) e velocidade ($\vec{v}$) em um movimento acelerado.

Já nos movimentos retardados, $\vec{a}_t$ tem a mesma direção, mas sentido oposto ao de $\vec{v}$, como representa o esquema a seguir.



Representação esquemática dos vetores aceleração tangencial ($\vec{a}_t$) e velocidade ($\vec{v}$) em um movimento retardado.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A aceleração centrípeta (ou normal) $\vec{a}_{cp}$ está associada às mudanças da direção do vetor velocidade. Podemos calcular seu módulo aplicando a equação desenvolvida pelo matemático holandês Christiaan Huygens (1629-1695), que contribuiu para a compreensão da dinâmica dos corpos em rotação e do movimento dos corpos celestes ao estudar o movimento circular.

$$|\vec{a}_{cp}| = \frac{|\vec{v}|^2}{R}$$

Na equação, $|\vec{v}|$ é o módulo da velocidade vetorial instantânea e *R* é o raio de curvatura da trajetória.

Nos movimentos retilíneos, *R* tende ao infinito e $\vec{a}_{cp} = \vec{0}$. Já em qualquer movimento curvilíneo, $\vec{a}_{cp} \neq \vec{0}$.

Aceleração vetorial média

A aceleração vetorial média ($\vec{a}_m$) é dada pela razão entre a variação da velocidade vetorial ($\Delta\vec{v}$) e o intervalo de tempo (Δt) correspondente a essa variação.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre — Registre em seu caderno

4. Em busca de uma árvore ideal para extrair o látex, um seringueiro amazônico desloca-se na mata de acordo com a seguinte sequência em sua caminhada:

1. 600 m para o norte;
2. 300 m para o oeste;
3. 200 m para o sul.

4. a. 500 m
4. b. 0,50 m/s
4. c. 1,1 m/s

Sabendo que esse seringueiro realiza o percurso total em 16 min 40 s, determine para esse homem:

a. o módulo do deslocamento vetorial;

b. o módulo de sua velocidade vetorial média;

c. o módulo de sua velocidade escalar média.

5. Em determinado ponto da trajetória circular de raio $R = 180$ m realizada por um avião da Esquadrilha da Fumaça durante uma exibição de acrobacias aéreas, a aceleração tangencial da aeronave apresentou módulo igual a 12 m/s². 5. a. 5 m/s²
5. b. 13 m/s²

MARCUS FIGUEIRA/SHUTTERSTOCK

Apresentação da Esquadrilha da Fumaça, da Força Aérea Brasileira, em São Carlos, SP (2022).

Se nesse mesmo ponto a velocidade do avião tinha intensidade igual a 108 km/h, determine:

a. o módulo da aceleração centrípeta;

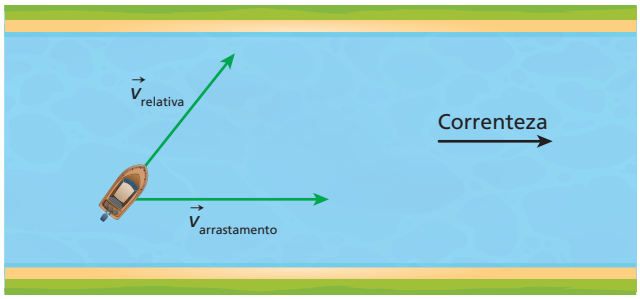
b. o módulo da aceleração vetorial.

Movimentos compostos

Quando um corpo está submetido a dois movimentos parciais que originam um movimento resultante, dizemos que ele realiza um **movimento composto**. Observado de um referencial no solo terrestre, o movimento composto é resultante da composição do **movimento de arrastamento** e do **movimento relativo**.

Imagine que você esteja em uma escada rolante subindo de um andar a outro de um edifício. Se você se mantiver em repouso em relação aos degraus da escada, será apenas arrastado por eles até o próximo andar, em um movimento de arrastamento. Se você caminhar pela escada rolante em movimento, além de ser arrastado, você estará em movimento em relação aos degraus da escada, classificado como um movimento relativo. Um observador em repouso próximo à base da escada registraria seu movimento resultante, ou seja, um movimento composto pelos movimentos de arrastamento e relativo.

Agora, considere um barco motorizado que navega em um rio em que as águas impõem à embarcação uma velocidade de arrastamento $(\vec{v}_{\text{arrastamento}})$. Devido ao seu motor, o barco apresenta uma velocidade relativa $(\vec{v}_{\text{relativa}})$ em relação às águas, conforme a figura a seguir.

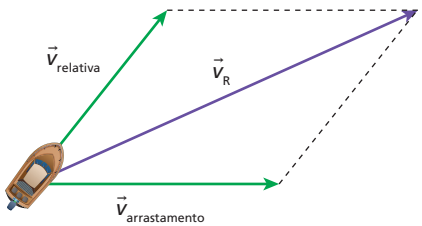


Representação esquemática do movimento composto do barco, sua velocidade de arrastamento e sua velocidade relativa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A velocidade resultante do barco, $\vec{v}_R$, é a soma vetorial de $\vec{v}_{\text{arrastamento}}$ com $\vec{v}_{\text{relativa}}$.

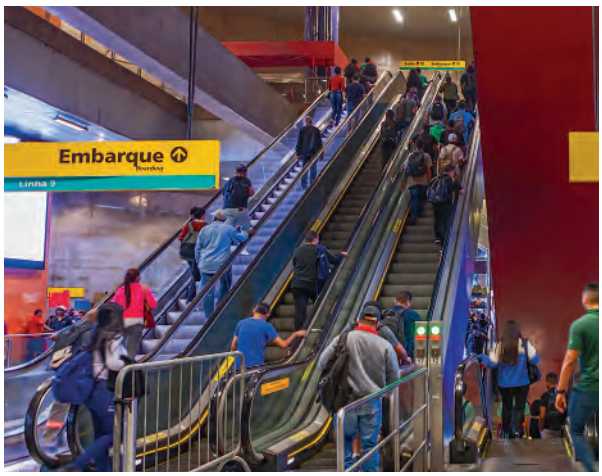
$$\vec{v}_R = \vec{v}_{\text{relativa}} + \vec{v}_{\text{arrastamento}}$$



Representação esquemática da velocidade resultante $\vec{v}_R$ para o movimento composto do barco. (Imagem sem escala.)

Exemplo 1

Escadas rolantes estão presentes em muitos centros urbanos, instaladas em terminais rodoviários, estações de trem e metrô, aeroportos e *shopping centers*.



EDU LYRA/PULSAR IMAGENS

Escadas rolantes na Estação Pinheiros do metrô de São Paulo, SP (2024).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere uma escada rolante que possibilita a subida de pessoas de um andar a outro de um terminal rodoviário com velocidade de módulo $v_{arrastamento} = 0{,}3$ m/s em relação ao solo (velocidade de arrastamento). Em determinado instante, uma pessoa começa a subir a escada com velocidade de módulo $v_{relativa} = 0{,}7$ m/s em relação aos degraus (velocidade relativa). Qual será o módulo da velocidade resultante, v_R, dessa pessoa registrado por um observador em repouso na plataforma próxima à base da escada?

Nesse caso, os movimentos relativo e de arrastamento ocorrem no mesmo sentido; logo, a intensidade da velocidade resultante é dada pela soma das intensidades das velocidades relativa e de arrastamento.

$$v_R = v_{relativa} + v_{arrastamento} \Rightarrow v_R = 0{,}7 \text{ m/s} + 0{,}3 \text{ m/s}$$

$$\therefore v_R = 1{,}0 \text{ m/s}$$

Exemplo 2

Considere agora uma escada rolante que possibilita a descida de pessoas de um andar a outro de uma estação de trem com velocidade de módulo $v_{arrastamento} = 0{,}3$ m/s em relação ao solo (velocidade de arrastamento). Em determinado instante, uma pessoa começa a subir essa escada com velocidade de módulo $v_{relativa} = 0{,}7$ m/s em relação aos degraus (velocidade relativa). Qual será o módulo da velocidade resultante, v_R, dessa pessoa registrado por um observador em repouso na plataforma próxima à base da escada?

Nesse caso, os movimentos relativo e de arrastamento ocorrem em sentidos opostos; logo, a intensidade da velocidade resultante é dada pela diferença entre as intensidades das velocidades relativa e de arrastamento.

$$v_R = v_{relativa} - v_{arrastamento} \Rightarrow v_R = 0{,}7 \text{ m/s} - 0{,}3 \text{ m/s}$$

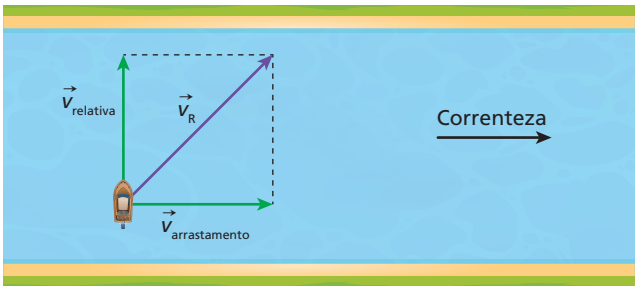
$$\therefore v_R = 0{,}4 \text{ m/s}$$

Princípio da independência dos movimentos de Galileu

O princípio da independência dos movimentos, proposto por Galileu Galilei (1564-1642) ao estudar movimentos compostos, estabelece que: em um movimento composto, o movimento relativo ocorre independentemente do movimento de arrastamento, isto é, um movimento pode ser estudado separadamente do outro.

Ao estudarmos o movimento de um trem sobre a superfície terrestre (movimento relativo), por exemplo, ignoramos o fato de o planeta Terra estar em rotação, movendo tudo o que há sobre ele (movimento de arrastamento).

De acordo com o princípio da independência dos movimentos, a travessia de um rio de margens paralelas ocorrerá em tempo mínimo se a embarcação for aproada perpendicularmente às margens, conforme ilustra a figura a seguir. Isso significa que a velocidade do barco em relação às águas, $\vec{v}_{relativa}$, deve formar um ângulo de 90° com a direção da velocidade de arrastamento imposta pelas águas, $\vec{v}_{arrastamento}$. Isso acontece porque o movimento relativo ocorre independentemente do movimento de arrastamento imposto pelas águas. Logo, com ou sem correnteza, o barco atravessa o rio no tempo mínimo quando sua velocidade relativa às águas é mantida perpendicular às margens.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da velocidade relativa ($\vec{v}_{relativa}$) do barco perpendicular às margens do rio, sua velocidade de arrastamento ($\vec{v}_{arrastamento}$) e sua velocidade resultante ($\vec{v}_R$). (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

6. Ao se deslocar entre comunidades ribeirinhas amazônicas, um barco motorizado desce um rio de uma localidade *A* a uma localidade *B*, levando 2,5 h para percorrer o trajeto de 36,0 km entre elas. Em seguida, essa mesma embarcação sobe o rio, retornando à localidade *A*, em um intervalo de tempo Δt. A velocidade do barco em relação às águas do rio é constante e tem módulo $v_{barco-água}$, enquanto a correnteza confere à embarcação uma velocidade de arrastamento de intensidade 1,0 m/s. Diante dessas informações, determine:

a. o valor de $v_{barco-água}$;

b. o valor de Δt.

6. a. 3,0 m/s
6. b. 5,0 h

7. Um barco a motor atravessa um rio de margens paralelas distantes $Y = 2{,}0$ km entre si em um intervalo de tempo mínimo, *t*. Nesse rio, as águas correm paralelamente às margens com velocidade de intensidade 3,0 km/h. Sabendo-se que a velocidade do barco em relação às águas tem intensidade 4,0 km/h, determine:

a. o valor de *t*, em minuto;

b. a distância *D*, em quilômetro, percorrida pelo barco de uma margem à outra em relação a um referencial fixo na margem de partida.

7. a. 30 min
7. b. 2,5 km

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lançamento oblíquo

Os movimentos oblíquos estão presentes em diversas situações de nosso dia a dia, como em esguichos de um chafariz inclinado e até no lançamento de uma bola para fazer cesta em um jogo de basquete. Mas o que é um lançamento oblíquo?

Desprezada a influência do ar, no **lançamento oblíquo** as trajetórias são arcos de parábolas e o movimento dos corpos pode ser entendido como um movimento composto: um movimento horizontal, por inércia, com a mesma velocidade horizontal do lançamento ($\vec{v}_{0x}$), e um movimento vertical, sob a ação exclusiva da gravidade.

RONIEPETERSON/GETTY IMAGES

Trajetórias parabólicas descritas pelos jatos de água lançados obliquamente pelos bicos ejetores do chafariz (Parque Tanguá, Curitiba, PR, 2023).

Desconsiderando a resistência do ar, a aceleração vetorial do corpo lançado, chamado **projétil**, é a aceleração da gravidade, $\vec{g}$, que é vertical e dirigida para baixo. Portanto, essa aceleração não admite componente horizontal, considerada nula. Logo, na horizontal, o movimento do projétil é uniforme.

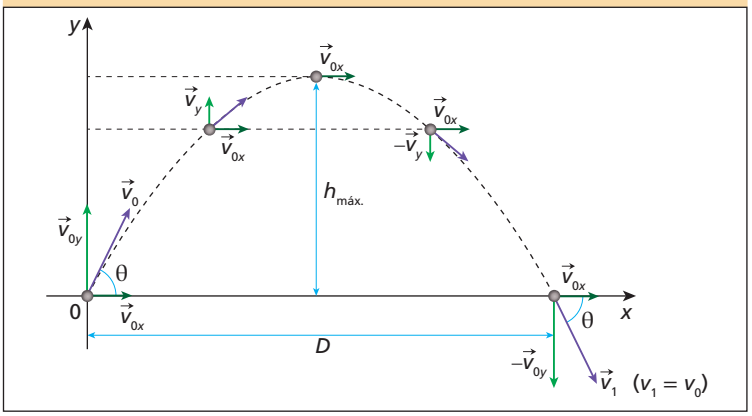
A componente vertical da aceleração é constante e igual a $\vec{g}$, portanto o movimento vertical é uniformemente variado, assim como o movimento de uma pequena pedra em deslocamento vertical sob a ação exclusiva da gravidade.

Então, no lançamento oblíquo, desprezada a influência do ar:

- a aceleração vetorial é igual a $\vec{g}$;
- na horizontal, **o movimento é uniforme**;
- na vertical, **o movimento é uniformemente variado**.

É importante notar que, ao longo da trajetória parabólica, o movimento é variado, mas não uniformemente variado. Ele é um movimento retardado na subida e acelerado na descida, em que a velocidade de intensidade mínima (não nula) ocorre no ponto de altura máxima da trajetória, que corresponde ao vértice da parábola.

Lançamento oblíquo



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

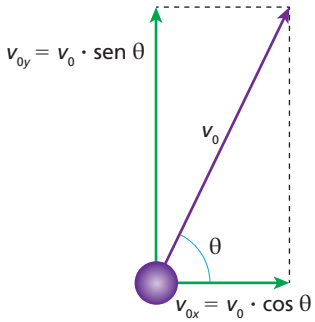
Representação esquemática de um lançamento oblíquo e da variação da velocidade ao longo da trajetória parabólica. (Imagem sem escala.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para calcular os módulos da velocidade inicial nos eixos *x* e *y*, vamos considerar as funções trigonométricas no triângulo retângulo.

$$\cos\theta = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}} \Rightarrow \cos\theta = \frac{v_{0x}}{v_0} \Rightarrow v_{0x} = v_0 \cdot \cos\theta$$

$$\text{sen}\,\theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}} \Rightarrow \text{sen}\,\theta = \frac{v_{0y}}{v_0} \Rightarrow v_{0y} = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta$$



Representação esquemática das componentes horizontal e vertical da velocidade inicial de um corpo lançado obliquamente. (Imagem sem escala.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Lançamento horizontal

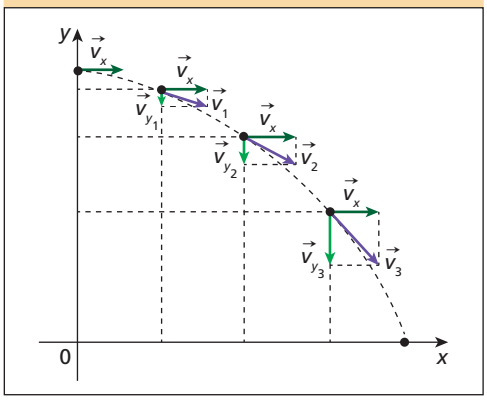
No lançamento horizontal, além de se movimentar na horizontal, o corpo cai verticalmente sob a ação da gravidade. Representando o movimento de um corpo em um sistema de coordenadas cartesianas, percebemos que um dos movimentos ocorre no eixo *x*, e o outro, no eixo *y*, como mostra a figura a seguir.

Como a única aceleração envolvida na situação é a aceleração da gravidade, que tem sempre direção vertical e sentido para baixo, podemos dizer que o movimento de um corpo em um lançamento vertical também é um movimento composto de dois movimentos distintos:

- um movimento uniforme no eixo *x* (velocidade constante);
- um movimento uniformemente variado no eixo *y* (aceleração constante igual à aceleração da gravidade).

Note que, nos chamados lançamentos horizontais, a velocidade inicial de lançamento $\left(\vec{v}_0\right)$ se mantém constante na direção horizontal.

Lançamento horizontal

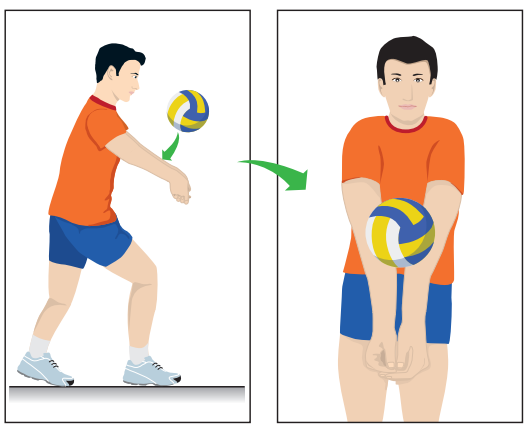


Representação esquemática de um lançamento horizontal e da variação da velocidade ao longo da trajetória em duas direções simultaneamente. (Imagem sem escala.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

O líbero, no vôlei, é um atleta especializado nas jogadas que são realizadas com mais frequência no fundo da quadra, na recepção e na defesa. Esse jogador deve ser muito bom nas manchetes, posição em destaque a seguir, muito utilizadas na recepção de saques e de jogadas de ataque do time adversário.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um jogador de vôlei utilizando a manchete para realizar a defesa. (Imagens sem escala.)

Suponha que, na defesa de um saque intenso, o líbero de uma equipe tenha devolvido a bola praticamente do nível do solo, quase da linha de fundo, para o outro lado da rede, utilizando uma manchete espetacular. Admita que a bola tenha sido rebatida com velocidade $\vec{v}_0$ de intensidade 10,0 m/s, inclinada 53° em relação à superfície da quadra. Desprezando-se os efeitos do ar e considerando-se $g = 10{,}0\ \text{m/s}^2$, sen 53° = 0,8 e cos 53° = 0,6, determine:

a. **a altura máxima, *H*, atingida pela bola;**
b. **a distância horizontal, *A*, percorrida pela bola até tocar o piso da quadra adversária, caracterizando um precioso ponto.**

Analisar o enunciado

No ponto de altura máxima da trajetória, a velocidade v_y é igual a zero, e a velocidade v_x é diferente de zero. Para determinar a altura máxima, podemos aplicar a equação de Torricelli.

Para determinar o alcance da bola na quadra adversária, é preciso considerar a velocidade horizontal, que é constante, e o tempo que a bola demora para atingir o solo (tempo de voo).

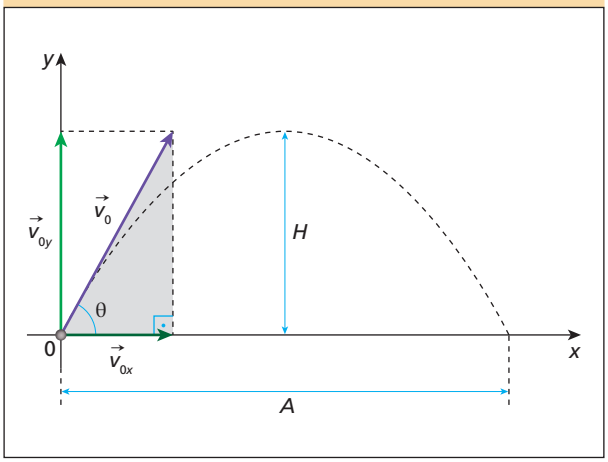
Selecionar as informações relevantes

Para determinar a altura máxima atingida pela bola e a distância horizontal percorrida por ela até tocar o piso da quadra adversária, precisamos determinar a intensidade das componentes vertical e horizontal da velocidade inicial; vamos considerar a intensidade da velocidade inicial $v_0 = 10{,}0$ m/s, o ângulo de lançamento 53° e a intensidade da aceleração da gravidade $g = 10{,}0$ m/s².

Aplicar o conceito estudado

Para compreender o problema, podemos montar um esquema gráfico da situação descrita e, em seguida, decompor a velocidade nos eixos horizontal e vertical, determinando seus respectivos módulos.

Lançamento oblíquo da bola



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da trajetória da bola em lançamento oblíquo. (Imagem sem escala.)

Cálculo da intensidade da componente de $\vec{v}_0$ na direção vertical, v_{0y}.

$v_{0y} = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta \Rightarrow v_{0y} = 10{,}0 \cdot \text{sen}\,53° \Rightarrow v_{0y} = 10{,}0 \cdot 0{,}8$

$\therefore v_{0y} = 8{,}0$ m/s

Cálculo da intensidade da componente de $\vec{v}_0$ na direção horizontal, v_{0x}.

$v_{0x} = v_0 \cdot \cos\theta \Rightarrow v_{0x} = 10{,}0 \cdot \cos 53° \Rightarrow v_{0x} = 10{,}0 \cdot 0{,}6$

$\therefore v_{0x} = 6{,}0$ m/s

a. Aplicando a equação de Torricelli para $v_y = 0$ e $a_y = -10{,}0$ m/s²:

$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2a_y \cdot H \Rightarrow 0 = (8{,}0)^2 + 2 \cdot (-10{,}0) \cdot H \Rightarrow$

$\Rightarrow -20{,}0 \cdot H = -64{,}0 \Rightarrow H = \frac{-64{,}0}{-20{,}0} \therefore H = 3{,}2$ m

b. Para o cálculo do tempo de voo t da bola, basta analisar o movimento uniformemente variado na vertical.

$v_y = v_{0y} + \alpha_y t \Rightarrow -8{,}0 = 8{,}0 - 10{,}0 \cdot t \Rightarrow$

$\Rightarrow 10{,}0 \cdot t = 16{,}0 \therefore t = 1{,}6$ s

A distância horizontal, A, percorrida pela bola até tocar o piso da quadra adversária – alcance horizontal do lançamento – fica determinada estudando-se o movimento uniforme na horizontal.

$\Delta x = v_{0x} \cdot t \Rightarrow A = v_{0x} \cdot t \Rightarrow A = 6{,}0 \cdot 1{,}6 \therefore A = 9{,}6$ m

Verificar a solução

A bola leva 1,6 s para cair na quadra adversária, ou seja, a bola levou 0,8 s para atingir a altura máxima e 0,8 s para cair – o que está de acordo com o enunciado, afinal, ocorre uma simetria entre a subida e a descida da bola. Vale ressaltar que o alcance de 9,6 m é contado desde o ponto onde a líbero executou a manchete até o ponto em que a bola toca a quadra adversária.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. **Registre em seu caderno**

8. Uma bola é chutada obliquamente a partir do solo plano e horizontal. A bola descreve uma trajetória parabólica sob a ação exclusiva da força da gravidade.

a. Na subida, o movimento da bola é acelerado ou retardado? E na descida?

b. O movimento da bola ao longo da trajetória é uniforme?

8. a. Subida: movimento retardado; descida: movimento acelerado.
b. O movimento não é uniforme; é variado, mas não uniformemente.

9. Do topo de uma estrutura de altura igual a 3,2 m, Raul lança sucessivamente dois pequenos objetos, *A* e *B*, com velocidades horizontais de intensidades respectivamente iguais a 2,0 m/s e 6,0 m/s, que atingem o solo plano e horizontal. Desprezando-se a resistência do ar e adotando-se $g = 10{,}0$ m/s², responda:

a. Quais foram os tempos de queda de *A* e *B*?

b. Quais foram os alcances horizontais de *A* e *B*?

9. a. 0,8 s
9. b. $A_A = 1{,}6$ m; $A_B = 4{,}8$ m

Fique por dentro

Movimento de projétil

PHET Physics Education Technology. **Movimento de projétil**. Universidade de Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 13 set. 2024.

Com o simulador virtual, é possível realizar lançamentos oblíquos diversos, variando o ângulo de lançamento, a intensidade da velocidade de disparo e o módulo da aceleração da gravidade local, e verificar as principais propriedades e características desses movimentos compostos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

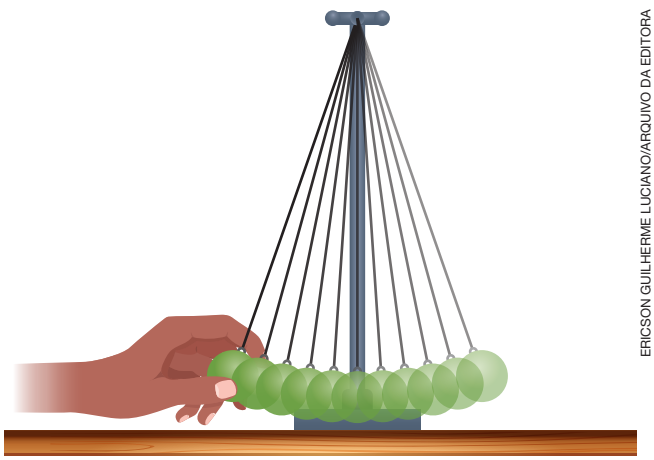
Movimentos periódicos

Movimentos que se repetem em intervalos de tempo sucessivos e iguais são chamados **movimentos periódicos**. São exemplos de movimentos periódicos: a oscilação de um pêndulo simples em condições ideais, os movimentos dos pontos dos ponteiros de um relógio, a translação, a rotação e a precessão da Terra, o movimento da Lua em torno da Terra, entre outros.

Período

O intervalo de tempo que um corpo leva em um ciclo completo, uma oscilação, um giro ou uma revolução em um movimento periódico é denominado **período** (***T***). No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida de período é o segundo (s), mas é comum a utilização de outras unidades de medida de tempo, como o ano, a semana, a hora e o minuto.

Um pêndulo oscilando em condições ideais, sem atritos, executa um movimento periódico. O período de oscilação corresponde ao intervalo de tempo gasto pelo pêndulo em um vaivém completo.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um pêndulo oscilando em condições ideais, em movimento periódico. (Imagem sem escala.)

Em seu movimento de translação, a Terra completa um giro em torno do Sol em um ano, ou seja, aproximadamente 365 dias e 6 horas. Esse é o período de translação da Terra. Em seu movimento de rotação, o planeta rotaciona em torno de um eixo imaginário em um dia, aproximadamente 24 horas. Esse é o período de rotação da Terra.

Frequência

O número de repetições N de um movimento periódico durante determinado intervalo de tempo Δt caracteriza a **frequência** (***f***) do movimento.

$$f = \frac{N}{\Delta t}$$

Se $N = 1$, então $\Delta t = T$, isto é, uma repetição do fenômeno corresponde a um período. Logo:

$$f = \frac{1}{T}$$

Diz-se que a frequência é o inverso do período ou que o período é o inverso da frequência.

No SI, a unidade de medida de frequência é s^{-1}, denominada **hertz** (**Hz**) em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894), cujos estudos contribuíram para o desenvolvimento das telecomunicações.

Embora não pertença ao SI, a unidade de medida rpm (rotações por minuto) também é muito utilizada para medições de frequência. Sua correspondência com o Hz é dada por:

$$1\ \text{rpm} = 1\ \frac{\text{rotação}}{\text{min}} = 1\ \frac{\text{rotação}}{60\ \text{s}} = \frac{1}{60}\ \frac{\text{rotação}}{\text{s}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1\ \text{rpm} = \frac{1}{60}\ \text{Hz}$$

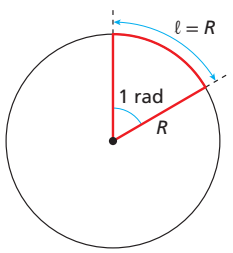
Velocidade angular média (ω_m)

A grandeza escalar **velocidade angular média** (ω_m) é dada pela relação entre a variação do espaço angular ($\Delta\varphi$) e o intervalo de tempo correspondente (Δt).

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Sua unidade de medida no SI é o radiano por segundo, indicada por rad/s ou rad s^{-1}.

Um radiano (1 rad) é a medida do ângulo central de uma circunferência de raio R e arco de comprimento ℓ igual ao raio, isto é, $\ell = R$.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

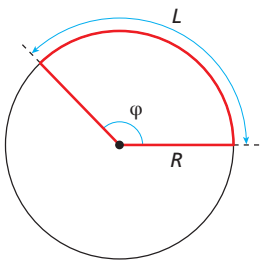
Representação de 1 radiano em uma circunferência de raio R.

Se achar conveniente, lembre os estudantes de que um grau (1°) é a medida do ângulo central correspondente a $\frac{1}{360}$ de uma volta completa em uma circunferência.

Note que: π rad = 180° e 1 rad ≃ 57°

Decorre da definição de radiano que um ângulo central qualquer φ corresponde a um arco de comprimento L, tal que:

$$\varphi = \frac{L}{R} \text{ ou } L = \varphi \cdot R$$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um ângulo φ e do arco de comprimento L correspondente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considere o ponteiro dos minutos de um relógio. Das 12 h 00 min às 12 h 15 min, ele varre no mostrador um ângulo de 90° ou $\frac{\pi}{2}$ rad. Sendo $\Delta\varphi$ o ângulo varrido e Δt o intervalo de tempo, qual é a velocidade escalar angular média desse ponteiro em unidades do SI?

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \Rightarrow \omega_m = \frac{\frac{\pi}{2}\text{ rad}}{15\text{ min}} \therefore\ \omega_m = \frac{\pi}{30}\text{ rad/min}$$

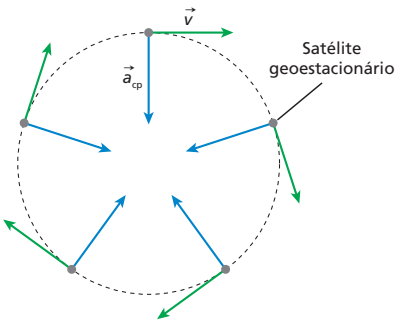
No SI, a unidade de medida da velocidade angular média é o radiano por segundo (rad/s); então, sendo 1 min = 60 s, temos:

$$\omega_m = \frac{\pi\text{ rad}}{30\text{ min}} = \frac{\pi\text{ rad}}{30 \cdot 60\text{ s}} \therefore\ \omega_m = \frac{\pi}{1.800}\text{ rad/s}$$

Movimento circular e uniforme

Chama-se **movimento circular e uniforme** (**MCU**) todo movimento uniforme em trajetória circular. O MCU é caracterizado por ocorrer em uma trajetória circular de raio R com velocidade de intensidade constante; no entanto, a direção e o sentido do vetor velocidade variam continuamente ao longo da trajetória.

Como exemplos de MCU podemos citar o movimento de uma das gôndolas de uma roda-gigante em operação regular e o movimento de um satélite geoestacionário em uma órbita típica.



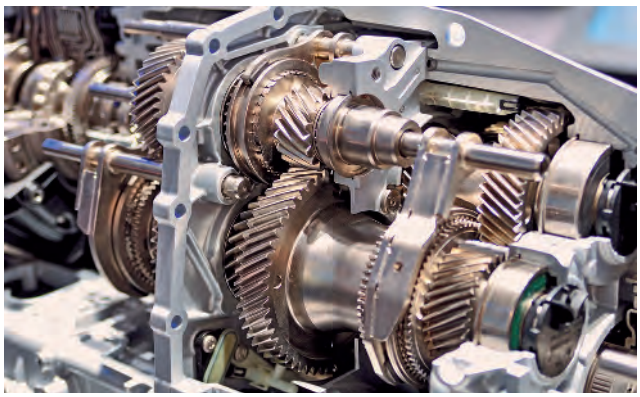
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da variação da direção e do sentido do vetor velocidade em diferentes instantes do movimento circular e uniforme de um satélite geoestacionário. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Satélites como esse descrevem órbitas circulares em torno do planeta Terra a uma altitude de aproximadamente 36.000 km, acima da linha do Equador, e parecem assumir uma posição fixa em relação a um ponto da superfície terrestre, ou seja, parecem estar em repouso no céu quando observados desse ponto, daí o nome geoestacionário. Muitos satélites de telecomunicações operam em órbitas geoestacionárias, o que possibilita a comunicação entre localidades distantes de um país, entre países e até entre continentes.

A órbita da Lua pode ser considerada aproximadamente circular. Considerando o planeta Terra em um ponto fixo do espaço, podemos dizer que a Lua descreve em relação a um referencial fixo no centro do planeta aproximadamente um MCU, com raio médio próximo de 384.000 km e período de 27 dias 7 horas 43 minutos e 12 segundos.

O estudo do movimento circular e uniforme tem grande importância prática, especialmente quando se trata de máquinas dotadas de engrenagens e polias, cujos pontos realizam quase sempre esse tipo de movimento.



LORAKS/GETTY IMAGES

Engrenagens acopladas a um mesmo eixo e engrenagens que funcionam em contato direto de seus dentes em uma caixa de câmbio de automóvel.

Em uma bicicleta, por exemplo, as engrenagens motrizes – a coroa, acoplada aos pedais, e a catraca, acoplada à roda traseira – trabalham conectadas por uma corrente tensionada. Se o ciclista pedalar com frequência constante, os pontos dessas engrenagens realizarão movimentos circulares e uniformes, em relação a um referencial na bicicleta.

BERGAMONT/GETTY IMAGES

Engrenagens dianteira (coroa) e traseira (catraca) de uma bicicleta.

Velocidade escalar linear e velocidade escalar angular no MCU

No MCU, as velocidades escalares linear e angular são constantes. Sendo v a velocidade escalar linear, Δs o deslocamento escalar, ω a velocidade escalar angular, $\Delta\varphi$ o deslocamento angular, Δt o intervalo de tempo, R o raio da circunferência, T o período e f a frequência, a velocidade escalar linear, em m/s, é dada por:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi \cdot R}{T} \Rightarrow v = 2\pi \cdot R \cdot f$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A velocidade escalar angular, em rad/s, é dada por:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot f$$

Assim, sendo $v = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot f$ e $2\pi \cdot f = \omega$, podemos escrever uma relação para a velocidade escalar linear (v) e a velocidade escalar angular (ω).

$$v = \omega \cdot R$$

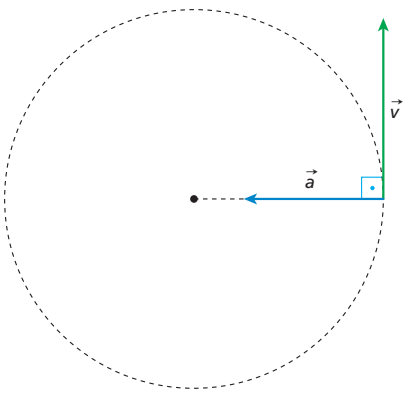
As relações matemáticas apresentadas podem favorecer uma melhor compreensão de situações-problema e a resolução mais ágil de atividades.

Aceleração no MCU

Se a velocidade escalar linear no MCU é constante, então a aceleração tangencial é nula ($\vec{a}_t = \vec{0}$). No entanto, a trajetória é circular, o que exige aceleração centrípeta não nula ($\vec{a}_{cp} \neq \vec{0}$).

Logo, no MCU, a aceleração vetorial é centrípeta ($\vec{a} = \vec{a}_{cp}$), isto é, dirigida para o centro da circunferência em cada instante, como representa a figura a seguir, que também mostra que os vetores $\vec{a}$ e $\vec{v}$ são perpendiculares entre si em cada ponto da trajetória.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática dos vetores aceleração e velocidade em um MCU.

A intensidade da aceleração centrípeta é dada por:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

Então, sendo $v = \omega \cdot R$, temos:

$$a_{cp} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \frac{\omega^2 \cdot R^2}{R} \Rightarrow a_{cp} = \omega^2 \cdot R$$

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

10. Se no conta-giros de um carro indica-se que o motor opera na frequência de 3.000 rpm, isso corresponde a quantos Hz? 10. 50 Hz

11. Considere um relógio de ponteiros, como o da figura a seguir, e compare as velocidades escalares angulares constantes, nesse caso, ω_h, ω_m e ω_s, dos ponteiros das horas, dos minutos e dos segundos, respectivamente. Qual dos ponteiros tem a maior velocidade escalar angular e qual deles tem a menor velocidade escalar angular? Explique. 11. $\omega_s > \omega_m > \omega_h$

12. a. 1 min
12. b. 2 rad/s
12. c. 60 m/s²

Representação de um relógio de ponteiros.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

12. O aeromodelismo – por cabos ou controle remoto – é um *hobby* que envolve delicada tecnologia e a intervenção direta do praticante. Admitamos que um pequeno avião aeromodelo, controlado por cabos de aço de comprimento 15 m, esteja equipado com um motor de alta potência, que confere à aeronave uma velocidade de intensidade constante igual a 108 km/h. Sabendo que o avião percorre uma trajetória circular contida em um plano horizontal, adotando $\pi \simeq 3$, calcule:

a. o intervalo de tempo, Δt, que o avião leva para realizar 20 voltas em sua trajetória;

b. a velocidade escalar angular, ω, do avião;

c. a intensidade, a, da aceleração vetorial da aeronave.

Transmissão de movimento circular e uniforme

De pequenas máquinas, como relógios analógicos, a grandes equipamentos, como os existentes na indústria pesada e nos transportes, há associações diversas de engrenagens e polias com a finalidade de transmitir movimentos de rotação.

Nos casos que analisaremos a seguir, vamos admitir que não ocorram escorregamentos entre as peças acopladas e que os pontos das engrenagens e polias operem em MCU.

Engrenagens e polias acopladas a um mesmo eixo

Para polias acopladas a um mesmo eixo, como as da figura a seguir, tanto o eixo quanto as polias 1 e 2 dão uma volta completa durante o mesmo intervalo de tempo. Isso também é válido para engrenagens acopladas a um mesmo eixo.

Isso significa que tanto o eixo quanto as polias têm períodos iguais e, por consequência, frequências e velocidades escalares angulares também iguais.

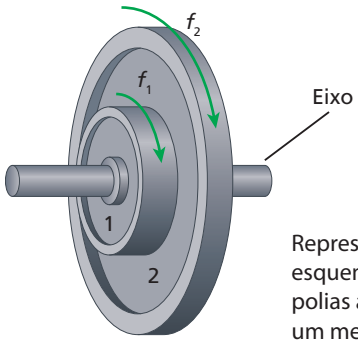
$$T_1 = T_2 \Rightarrow f_1 = f_2$$

Com $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$, verifica-se que, de fato:

$$\omega_1 = \omega_2$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

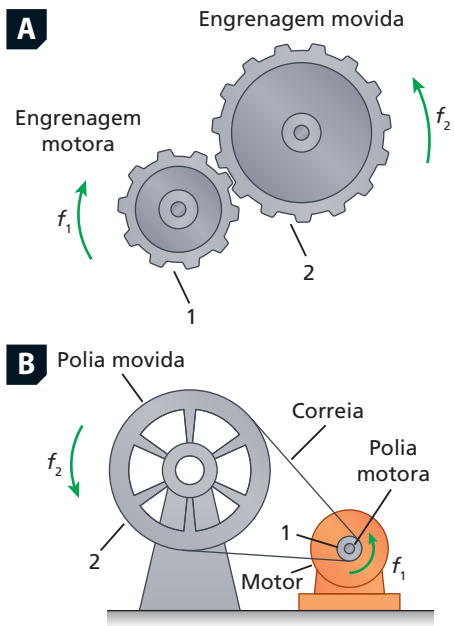
Sendo R_1 e R_2 os raios das polias 1 e 2, respectivamente, com $R_1 < R_2$, e lembrando que $v = \omega \cdot R$, decorre que nas periferias das duas polias $v_1 < v_2$. Nessa montagem, v e R são diretamente proporcionais.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de polias acopladas a um mesmo eixo.

Engrenagens em contato direto e polias conectadas por correia inextensível



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de **(A)** engrenagens em contato direto e **(B)** polias conectadas por correia inextensível. (Imagens sem escala.)

As abordagens matemáticas que faremos a seguir aplicam-se às duas montagens indicadas na ilustração, que, conceitualmente, se equivalem.

A peça 1 em ambos os casos, de raio R_1 e frequência de rotação f_1, está presa ao eixo de um motor, funcionando como peça motora. Já a peça 2, de raio R_2 e frequência de rotação f_2, opera como peça movida ou peça parasita.

Na figura A, as peças giram em sentidos opostos, enquanto na figura B, giram no mesmo sentido. Tente imaginar os dois sistemas em funcionamento.

Os pontos periféricos das engrenagens no caso da figura A, bem como os pontos periféricos das polias e dos pontos da correia no caso da figura B, sofrem deslocamentos escalares iguais (mesmo espaço percorrido) em intervalos de tempo iguais, logo têm a mesma velocidade escalar linear.

$$v_2 = v_1 \Rightarrow 2\pi \cdot R_2 \cdot f_2 = 2\pi \cdot R_1 \cdot f_1 \Rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Nesse caso, as frequências de rotação das peças são inversamente proporcionais aos respectivos raios.

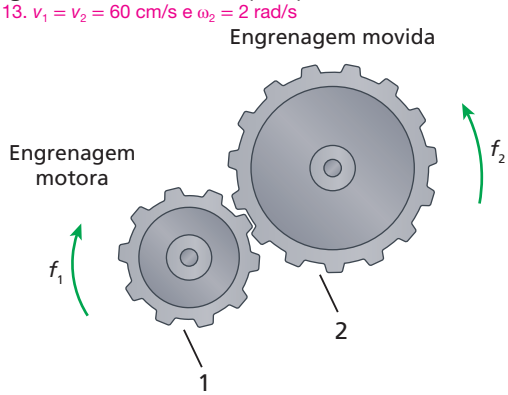
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

13. Na situação da figura a seguir, têm-se duas engrenagens em contato direto que operam sem deslizamento.

13. $v_1 = v_2 = 60$ cm/s e $\omega_2 = 2$ rad/s

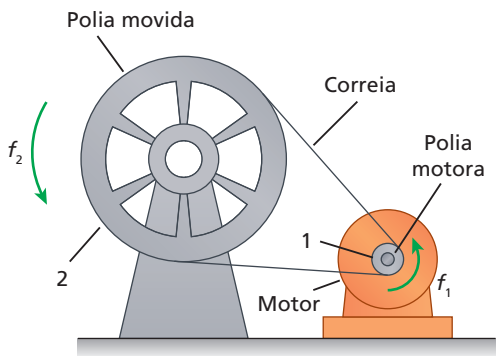


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de duas engrenagens em contato direto. (Imagem sem escala.)

Estando a engrenagem 1 conectada ao eixo de um motor e sendo $\omega_{eixo} = 5$ rad/s, $R_1 = 12$ cm e $R_2 = 30$ cm, determine os módulos das velocidades escalares lineares nas periferias das engrenagens 1 e 2, respectivamente, e a velocidade escalar angular da engrenagem 2.

14. Considere a situação a seguir, em que duas polias estão conectadas por meio de uma correia inextensível que opera sem deslizamento.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de duas polias conectadas por uma correia inextensível. (Imagem sem escala.)

14. a. 72 rpm
14. b. $N_1 = 16$ voltas; $N_2 = 2$ voltas

a. Sendo $f_1 = 120$ rpm, $R_1 = 15$ cm e $R_2 = 25$ cm, determine f_2.

b. Se $R_1 = 4$ cm, $R_2 = 32$ cm, $\pi \simeq 3$, e se os pontos da correia percorrerem $\Delta s = 384$ cm, quantas voltas darão as polias 1 e 2?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Em uma disputa de cabo de guerra, dois grupos, *A* e *B*, puxam horizontalmente em sentidos opostos as extremidades de uma corda flexível e inextensível. Vence a disputa quem conseguir deslocar um lenço preso no meio da corda no sentido de seu time.

1. a. 500 N
1. b. 2.500 N

Sabendo que a força é uma grandeza vetorial e pode ser representada por um vetor, admita que o grupo *A* puxe a corda com uma força de intensidade de 2.000 N e que o grupo *B* puxe a corda com uma força de intensidade 1.500 N, na mesma direção e em sentidos opostos.

a. Qual será a intensidade da força resultante em um ponto do centro da corda?

b. Se a corda enlaçar o fino tronco de uma árvore e os dois grupos puxarem perpendicularmente em um mesmo plano horizontal seus respectivos segmentos de corda, mantendo-se as intensidades das forças citadas, qual será o módulo da força resultante aplicada pela corda no tronco dessa árvore? Despreze os atritos.

2. As formigas – Formicidae – são insetos que manifestam comportamento social e colaborativo e, como as vespas e as abelhas, pertencem à ordem dos himenópteros. As formigas cortadeiras trabalhadoras, por exemplo, cortam e carregam fragmentos de folhas para cultivar o fungo do qual se alimentam.

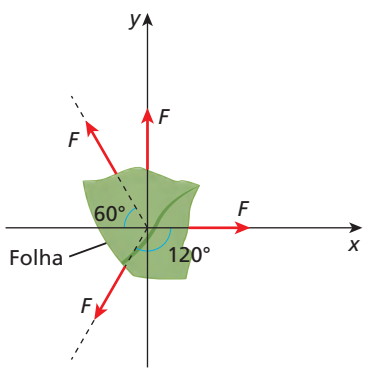
2. A força resultante tem intensidade igual a *F*, direção e o sentido do eixo *y*.

GUENTER FISCHER/GETTY IMAGES

Formiga-cortadeira (*Atta cephalotes*). Formigas-cortadeiras trabalhadoras podem atingir comprimentos entre 3 mm e 16 mm.

Admita que, em determinado instante, quatro formigas exerçam em uma folha posicionada em um plano horizontal as forças coplanares e concorrentes representadas no esquema a seguir, todas com intensidade *F*.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

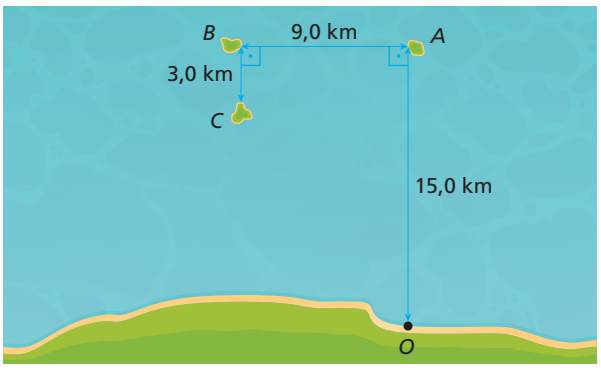


Representação esquemática da intensidade (*F*), do sentido e da direção das forças aplicadas pelas formigas sobre a folha. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quais serão, nesse instante, a intensidade, a direção e o sentido da força resultante sobre a folha? Tenha como referência para sua resposta os eixos *x* e *y* indicados.

3. Uma embarcação carregada com suprimentos zarpa de um porto *O* na costa às 7 h para fazer entregas em três pequenas ilhas, *A*, *B* e *C*, posicionadas conforme representa o esquema.

3. a. 4,5 km/h
3. b. 2,5 km/h



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das pequenas ilhas *A*, *B* e *C*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

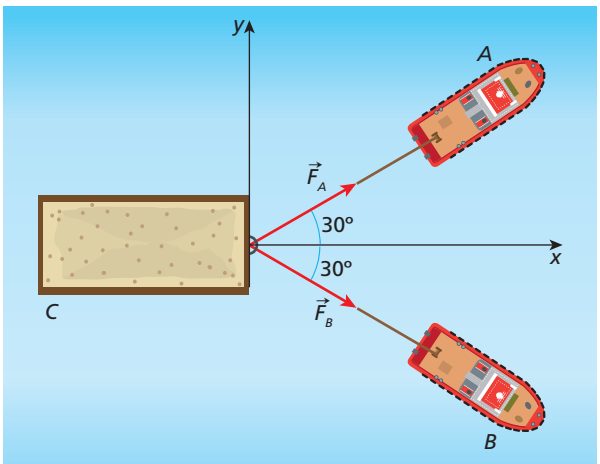
A embarcação atraca na ilha *C* às 13 h do mesmo dia. Para o percurso total de *O* até *C*, calcule:

a. a velocidade escalar média;

b. a velocidade vetorial média.

4. a. $300\sqrt{3}$ kN
4. b. Direção e sentido do eixo *x*.

4. Uma balsa *C* carregada com grãos de soja é puxada horizontalmente em um trecho reto de um rio por dois rebocadores, *A* e *B*, que aplicam forças $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$ de intensidades iguais a 300 kN. A situação é simétrica, de modo que as forças formam com o eixo de referência *x* ângulos de 30°, conforme representado a seguir.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma balsa *C* puxada horizontalmente por dois rebocadores, *A* e *B*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

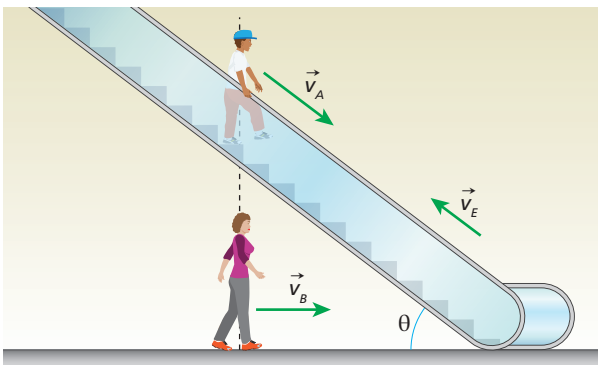
a. Qual é a intensidade da resultante das forças aplicadas por *A* e *B*?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b. Quais são a direção e o sentido da resultante das forças, em relação aos eixos *x* e *y*?

5. Ao perceber sua irmã, Beatriz, deslocando-se horizontalmente com velocidade $\vec{v}_B$ de intensidade constante 0,80 m/s ao lado de uma das escadas rolantes de um *shopping center*, cujos degraus sobem com velocidade $\vec{v}_E$ de intensidade constante 0,50 m/s, André põe-se a descer por essa escada, apresentando em relação aos degraus velocidade constante $\vec{v}_A$, de modo a manter-se sempre na vertical de Beatriz. Dessa forma, eles atingem a base da escada simultaneamente, com Beatriz tendo se deslocado 6,0 m desde o instante inicial $t_0 = 0$. O esquema a seguir representa a situação proposta.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática das velocidades relativas $\vec{v}_A$ e $\vec{v}_B$, de André e Beatriz, e da velocidade $\vec{v}_E$ da escada rolante. (Imagem sem escala.)

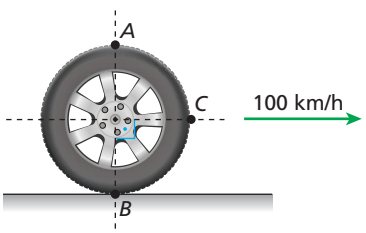
Sabendo que a inclinação θ da escada em relação à horizontal é de 37° e considerando sen 37° = 0,60 e cos 37° = 0,80, determine:

a. o instante do encontro; 5. a. 7,5 s

b. a intensidade de $\vec{v}_A$. 5. b. 1,5 m/s

6. Um carro trafega a 100 km/h sobre uma rodovia retilínea e horizontal. Na figura, está representada uma das rodas do carro, na qual estão destacados três pontos: *A*, *B* e *C*.

6. v_A = 200 km/h; v_B = 0; v_C = 140 km/h



Representação esquemática da roda de um carro que trafega com velocidade de 100 km/h. (Imagem sem escala.)

Desprezando derrapagens, calcule as intensidades das velocidades de *A*, *B* e *C* em relação à rodovia. Adote nos cálculos $\sqrt{2} \simeq 1{,}4$.

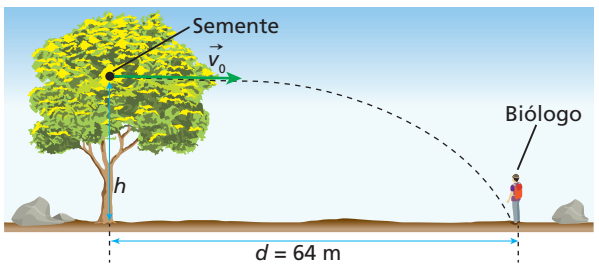
7. A sibipiruna, também conhecida como mucitaiba-verdadeira ou falso-pau-brasil, é uma árvore do bioma da Mata Atlântica cujos frutos se assemelham a vagens. Quando maduros, esses frutos estouram, lançando as sementes a distâncias relativamente grandes do caule da planta. 7. a. 20 m 7. b. 32 m/s

PIXELTO/CC BY 2.0/WIKIMEDIA FOUNDATION

Vagens de uma árvore sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*).

Suponha que uma vagem posicionada no centro da copa de uma sibipiruna estoura, lançando uma semente horizontalmente com velocidade $\vec{v}_0$. Essa semente atinge um ponto do solo plano e horizontal junto a um biólogo em repouso, distante $d = 64$ m do caule da árvore, como representa o esquema a seguir.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática da trajetória descrita por uma semente da árvore sibipiruna. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

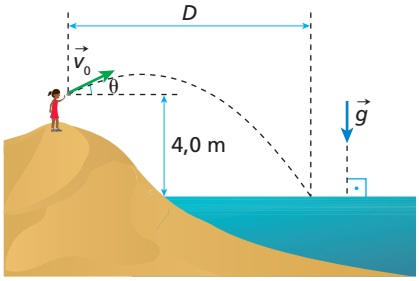
Sabendo que, no local, a resistência do ar sobre o movimento da semente é desprezível, a velocidade do som é $v_{som} = 320$ m/s, o módulo da aceleração da gravidade é $g = 10$ m/s² e o intervalo de tempo decorrido entre o biólogo ouvir o som da explosão da vagem e a semente cair em seus pés é $\Delta t = 1{,}8$ s, determine:

a. a altura *h* do local de onde a semente foi disparada;

b. o módulo de $\vec{v}_0$.

8. (FCMSC-SP) A partir de uma elevação ao lado de um lago de águas tranquilas, uma criança lançou uma pedra obliquamente para cima com velocidade inicial de módulo 10 m/s e direção que formava um ângulo θ com a horizontal, tal que sen θ = 0,80 e cos θ = 0,60.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Sabendo que a pedra saiu da mão da criança a uma altura de 4,0 m acima da superfície do lago, considerando $g = 10$ m/s² e desprezando-se a resistência do ar, o módulo do deslocamento horizontal *D* da pedra até atingir a superfície do lago foi 8. Alternativa **c**.

a. 11,4 m **c.** 12,0 m **e.** 13,6 m

b. 9,6 m **d.** 9,0 m

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9. Considere uma lâmina de turbina eólica de 84,0 m de comprimento, com o eixo do gerador girando preso às lâminas e em funcionamento em um dia de vento fraco, com frequência constante de 5,0 rpm. Considere um ponto *A* na extremidade da lâmina e um ponto *B* distante 56,0 m de *A* sobre a mesma linha radial que contém *A* e adote $\pi \simeq 3$.

a. Quais são os módulos, v_A e v_B, das velocidades escalares lineares dos pontos *A* e *B*, em km/h?

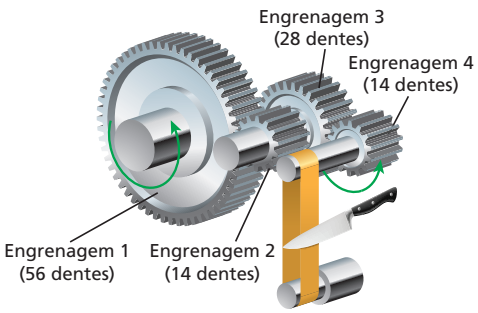
b. Qual é a intensidade, *a*, da aceleração vetorial do ponto *A*, em m/s²? 9. a. $v_A = 151{,}2$ km/h; $v_B = 50{,}4$ km/h 9. b. 21,0 m/s²

DORDO BRNOBIC/SHUTTERSTOCK

Turbinas eólicas no complexo eólico Delta do Parnaíba (Parnaíba, PI, 2023).

10. (FICS Albert Einstein/Vunesp – SP) O mecanismo mostrado na figura foi adaptado para afiar facas. Ele é constituído de engrenagens de tamanhos diferentes e de uma fita abrasiva. O motor que faz a engrenagem 1 girar tem frequência de 75 rpm e os pinos com os quais a fita abrasiva faz contato têm raios de curvatura iguais, medindo 5 cm cada um. Nesse procedimento, a faca é mantida em contato com a fita abrasiva e em repouso em relação ao solo.

RENAN ORACIC/ARQUIVO DA EDITORA



Sabendo que o número de dentes na periferia de uma engrenagem é diretamente proporcional ao raio dessa engrenagem, que não há escorregamento entre a fita abrasiva e os pinos com os quais ela faz contato e adotando $\pi = 3$, a velocidade escalar com que a fita passa pela faca que está sendo afiada é de 10. Alternativa **d**.

a. 2,0 m/s.
b. 2,5 m/s.
c. 3,5 m/s.
d. 3,0 m/s.
e. 1,5 m/s.

11. A vantagem é que a maior velocidade linear no Equador facilita lançamentos de foguetes, economizando combustível.

11. Bases de lançamentos de foguetes espaciais geralmente são construídas nas proximidades da linha do Equador. É o caso, por exemplo, do Centro Espacial de Alcântara, no Maranhão, atualmente muito utilizado para o envio de satélites internacionais às diversas órbitas terrestres.

REPRODUÇÃO/AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Foguete no Centro Espacial de Alcântara (Alcântara, MA, 2022).

Com base nos conceitos de velocidade escalar linear e velocidade escalar angular no movimento circular e uniforme, explique qual vantagem principal justifica a construção dessas bases em regiões equatoriais.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Reflita sobre seu aprendizado!

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades EF09CO10 e EM13CO14 da Computação, ao propor que os estudantes avaliem a veracidade, a credibilidade, a confiabilidade e a relevância das informações que circulam em diferentes mídias. O objetivo é que os estudantes conheçam o que são *fake news*, aprendam a identificá-las e reconheçam seus impactos, compreendendo a importância de não as reproduzir ou compartilhar.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fake news: devo me preocupar com isso?

No mundo cada vez mais conectado em que vivemos, a propagação da desinformação é rápida, muito mais rápida que a propagação de informações verdadeiras. Uma das razões é que esse tipo de conteúdo tende a manipular as emoções das pessoas, o que torna mais difícil a distinção entre o que é fato e o que é falso. Além disso, a dinâmica das mídias digitais, cujo acesso está na palma das mãos, a um simples toque na tela de um *smartphone* ou *tablet*, faz com que a desinformação alcance cada vez mais pessoas.

Você já ouviu a expressão *fake news*? Ela se refere à falsificação do formato notícia e é criada com o objetivo de influenciar e manipular as pessoas. É uma forma de desinformação muito comum nas plataformas digitais. As *fake news* podem se parecer com notícias jornalísticas, mas são provenientes de fontes duvidosas.

Notícias fabricadas que manipulam informações e dados científicos circulam livremente nas plataformas digitais e são, com frequência, compartilhadas nas redes sociais, muitas vezes sem a verificação se partiram de uma fonte confiável sobre o assunto, como órgãos governamentais, institutos de pesquisa, artigos acadêmicos e agências de notícias reconhecidas internacionalmente, propagando a desinformação em relação a temas científicos. Para combater a desinformação científica no Brasil, a Academia Brasileira de Ciências (ABC) reuniu, em maio de 2024, um grupo de 20 pesquisadores cujo objetivo era definir estratégias em defesa da Ciência.

Divulgar informações falsas pode ter graves consequências, por isso é importante saber distinguir o que é fato do que é falso antes de compartilhar qualquer informação.

Já parou para pensar sobre como você, seus familiares e colegas respondem às informações que recebem? Ou, ainda, de que forma as pessoas consomem desinformação?

Em grupo com dois colegas, reflitam sobre essa temática. Conversem sobre as questões a seguir, que podem ajudar nessa reflexão.

1. As pessoas com quem vocês convivem costumam confiar no conteúdo que é divulgado e compartilhado nas plataformas digitais? Por quê?
2. Vocês sabem o que são *fake news* e quais são as consequências de sua difusão para a sociedade?
3. Vocês têm o hábito de compartilhar as informações que recebem nas redes sociais? Como selecionam as informações que compartilham? Vocês avaliam as informações antes de compartilhar?
4. Qual é a importância da análise crítica das informações a que somos expostos nas diferentes mídias? Como reconhecer que nem todas as informações às quais estamos expostos são fatos?
5. Em sua opinião, o que pode motivar as pessoas a produzirem ou compartilharem, intencionalmente, conteúdo com informações incorretas e promoverem a desinformação científica?
6. Como leitores, o que vocês podem fazer ao se depararem com *fake news* ou com desinformação?
7. Qual deve ser o papel dos veículos de comunicação, dos governos e da sociedade no combate à desinformação e à propagação de *fake news*?

Espera-se que os estudantes reflitam sobre a promoção de desinformação científica como forma de monetização de conteúdo publicado nas redes sociais e como estratégia comercial, acompanhada da venda de cursos, consultorias, produtos, terapias e livros.

Ampliação de repertório

Agora que você já realizou essa reflexão inicial, com seus colegas de grupo, aprofundem as discussões com pesquisas a respeito dos pontos destacados. Vocês podem buscar informações sobre as características das *fake news*. O que elas têm em comum? Quais atitudes podem ser tomadas para evitar a propagação de desinformação e o compartilhamento de *fake news*, a fim de diminuir as chances de sermos enganados?

Pesquisem as estratégias e ferramentas utilizadas para disseminar informações que não são verdadeiras e reflitam sobre como as mídias digitais ajudam as *fake news* a se propagarem com mais facilidade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essas reflexões e pesquisas possibilitam o trabalho interdisciplinar com Língua Portuguesa, promovendo a discussão sobre o campo de atuação na vida pública e desenvolvendo as habilidades EF67LP16 e EF69LP24. Se achar conveniente, apresente aos estudantes algumas ferramentas de verificação de informações, como a plataforma Brasil Contra Fake, mantida pelo governo federal, disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/fatos/brasil-contra-fake (acesso em: 13 set. 2024).

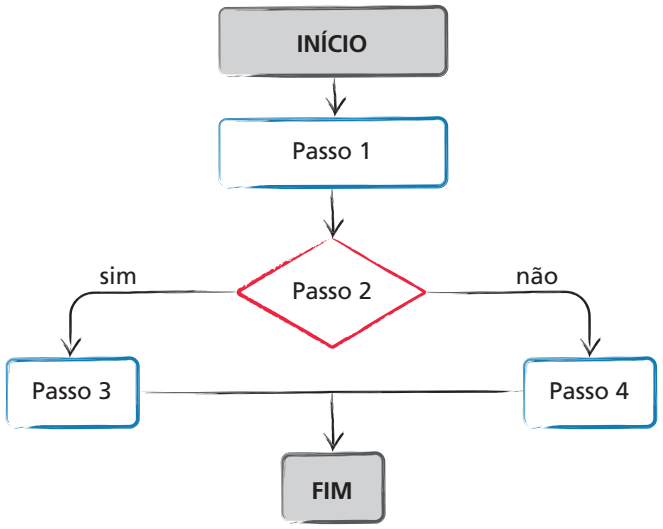
Pesquisem dois casos de *fake news* relacionadas à Ciência e debatam os impactos na sociedade. Quais foram as medidas tomadas pelos governos ou órgãos responsáveis para conter a circulação dessas informações? Proponham formas de interromper ou minimizar a propagação das *fake news*.

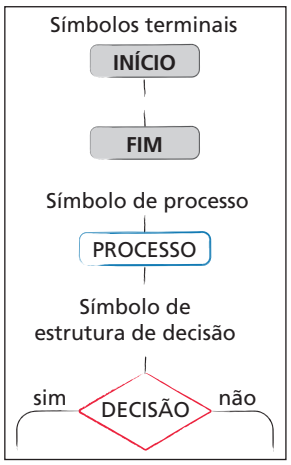
Pesquisem também as medidas que algumas plataformas digitais têm adotado para conter a disseminação das *fake news*. Vocês podem conversar com jornalistas e outros profissionais da área para entender o que são notícias jornalísticas, como elas são produzidas e que boas práticas esses profissionais devem seguir.

Complementem a pesquisa com a legislação que estabelece os direitos dos usuários e as normas para os provedores de serviços de mensagens e redes sociais, que também são responsáveis pelo combate à desinformação.

Para facilitar a etapa seguinte, utilizando papel e canetas coloridas ou uma ferramenta digital de edição de texto ou desenho, construam um fluxograma que mostre os passos para a detecção de *fake news*. Fluxograma é um conjunto ordenado de símbolos que mostram o fluxo de execução de uma tarefa; ele é uma das formas de representar um algoritmo. O fluxograma vai ajudar a organizar visualmente as informações e facilitar a compreensão de como detectar *fake news*.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA





Representação dos elementos de um fluxograma.

Esta atividade possibilita o trabalho interdisciplinar com Matemática, o desenvolvimento da habilidade EM13MAT315 e o trabalho com os pilares do pensamento computacional.

Produção de conteúdo

Agora que vocês já refletiram sobre desinformação e *fake news*, as consequências de sua propagação e as formas de combatê-las, considerem a seguinte proposta para aplicar seu conhecimento e ajudar no combate às *fake news* e à desinformação.

Elaborem um guia informativo, simples e direto, com dicas sobre como identificar *fake news* e o que fazer para evitar que elas se propaguem pela comunidade. Sejam objetivos, informem como reconhecer *fake news,* os cuidados fundamentais que todos devem ter ao acessar informações na internet e as atitudes que devem ser tomadas antes de compartilhar qualquer informação nas redes sociais, destacando a importância do uso responsável das plataformas digitais para a sociedade e no exercício da cidadania.

Vocês podem fazer o guia informativo em formato digital ou impresso e compartilhar com a comunidade, divulgando nos murais ou nas redes sociais da escola, por exemplo, ou em pontos estratégicos do bairro.

Autoavaliação

Este espaço é destinado ao reconhecimento de seus pontos fortes e das oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

- Aplicar técnicas de pesquisa para avaliar de forma crítica, nas mídias utilizadas, a confiabilidade das informações e do conteúdo apresentados.
- Selecionar, organizar e resumir as informações coletadas.
- Aderir ao tema, com a seleção de textos e informações adequadas.
- Apresentar os resultados de maneira clara e com domínio dos conceitos estudados.
- Criar e divulgar o guia informativo com linguagem adequada ao público-alvo, de forma ética e imparcial.

É importante propor aos estudantes que planejem as etapas e o passo a passo para a produção desse conteúdo, antes de criarem o produto de fato. Proponha que pensem no público-alvo, no tipo de mídia que podem utilizar para a produção e divulgação do produto, nos recursos de texto, imagem ou vídeo mais apropriados nesse contexto. Acompanhe os estudantes no planejamento da divulgação do guia informativo, para garantir que ela seja feita de forma segura. Se achar conveniente, uma campanha ou uma oficina pode ser organizada na escola para a conscientização da comunidade sobre a importância de reconhecer e combater a desinformação e as *fake news*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 2

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

FOTO BISUAL/SHUTTERSTOCK

Com mais de 275 quedas-d'água, as Cataratas do Iguaçu, localizadas na fronteira entre o Brasil e a Argentina, formam um espetáculo impressionante da natureza. (Foz do Iguaçu, 2020.)

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

Esta abertura permite uma abordagem interdisciplinar com Biologia e Química ao apresentar diferentes possibilidades para a produção de energia elétrica a partir de fontes sustentáveis, como água e resíduos sólidos. Se possível, consulte as aberturas das unidades 2 dos volumes de Biologia e de Química e faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza, discutindo o impacto da produção e do consumo de energia elétrica no desenvolvimento sustentável. Converse com os estudantes sobre como definem energia e sobre o significado desse conceito em Física.

As Cataratas do Iguaçu podem ser visitadas no Parque Nacional do Iguaçu (PARNA Iguaçu), uma Unidade de Conservação Federal que abriga diferentes espécies da biodiversidade brasileira e onde são realizadas, além de pesquisas científicas, atividades de educação e interpretação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico. Esse espetáculo da natureza nos remete aos conceitos de força, energia, potência, vida e desenvolvimento sustentável. Ao despencar de uma cachoeira, por exemplo, energia potencial gravitacional armazenada pela água é convertida em energia cinética. Em uma usina hidrelétrica, viabiliza-se o aproveitamento dessa energia para a produção de energia elétrica; na usina, o fluxo de água em queda exerce forças sobre as pás de uma turbina, fazendo-a girar, transformando energia cinética em energia elétrica. Pensar em energia é pensar indiretamente em sustentabilidade, conceito essencial para o equilíbrio do planeta Terra e a manutenção da vida.

Nesta unidade, vamos estudar o conceito de força, as leis que regem os movimentos dos corpos no espaço e na superfície terrestre, os conceitos de trabalho e potência, como ocorrem as transformações de energia e como se dá sua conservação.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. A água em queda que faz movimentar as pás das turbinas de uma usina hidrelétrica está sob a ação de que força?
2. Como você explicaria o conceito físico de trabalho?
3. No Universo, todos os fenômenos físicos envolvem energia e suas transformações. Transformações de energia também são essenciais para a manutenção da vida e dos ecossistemas, como o que compõe o PARNA Iguaçu. Cite três situações do seu cotidiano em que ocorrem transformações de energia e os tipos de energia envolvidos.

Capítulo 5

Leis de Newton e movimentos curvilíneos

O lançamento de satélites para o monitoramento das condições ambientais e climáticas do planeta Terra é apenas um dos exemplos de aplicação de princípios da Física no desenvolvimento de tecnologias para o estudo do Universo e da vida na Terra, como as leis de Newton para o movimento dos corpos. No lançamento de um foguete, ele permanece em repouso até que os motores entrem em funcionamento, quando a força dos gases expelidos o impulsiona para cima, superando a força gravitacional que o mantém no solo. Quanto mais leve o foguete, menor a força necessária para vencer a força da gravidade e atingir aceleração suficiente para o lançamento ao espaço. Mas o que acontece quando os motores param de funcionar?

Neste capítulo, vamos estudar os conceitos que possibilitam compreender as leis de Newton para os movimentos dos corpos, como os conceitos de força e inércia, e de que modo essas leis são aplicadas no estudo dos movimentos curvilíneos.

NASA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Lançamento do satélite de observação da Terra Landsat 8 a bordo do foguete Atlas-V (Califórnia, Estados Unidos, 2013).

Introdução ao conceito de força

Os meios de transporte mostrados nas figuras a seguir, utilizados desde tempos remotos, ajudaram a moldar o pensamento a respeito das causas do movimento. A ideia de que só existe movimento enquanto houver um agente motor tem raízes na Antiguidade; por exemplo, para se movimentar, a jangada necessita de remos ou da ação do vento, e o carro de boi precisa da ação dos animais. Essa ideia se baseava na observação do movimento de um corpo a partir da ação de uma força exercida por outro corpo. Mas será que essa ideia é absolutamente correta? A pergunta é muito complexa e levou aproximadamente 2 mil anos para ser respondida, período entre as publicações do filósofo grego Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) e as do matemático e físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) a esse respeito.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CESAR DINIZ/PULSAR IMAGENS

ADRIANO KIRIHARA/PULSAR IMAGENS

(A) Jangada em Maceió, AL (2022). **(B)** Carro de boi em Povoado Ilha do Ferro, Pão de Açúcar, AL (2023). Esses são exemplos de tecnologias muito antigas e sustentáveis utilizadas para o transporte de pessoas e de produtos.

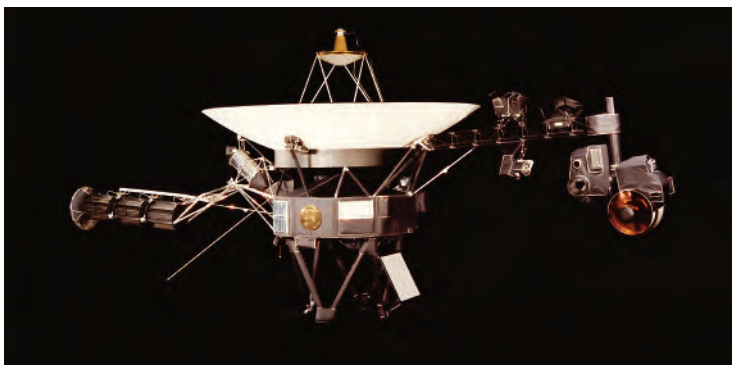
Chamaremos de **força** uma interação ou ação entre dois corpos capaz de deformá-los ou modificar seu movimento.

Para Aristóteles, o movimento retilíneo e uniforme dos corpos ocorria apenas quando eram puxados ou empurrados, ou seja, enquanto uma força atuasse sobre eles. Essa visão de Aristóteles a respeito do movimento, aliada a diversas outras – como a de que o movimento dos corpos celestes não seguiria as mesmas regras do movimento dos corpos na Terra ou a de que a queda dos corpos seria um movimento natural causado pela tendência dos "graves" (corpos em queda) de buscarem seu lugar natural, que é a Terra –, formava a chamada Mecânica Aristotélica.

Com os trabalhos de Galileu Galilei e, posteriormente, os do matemático e físico inglês Isaac Newton (1643-1727), essa visão se modificou.

Movimento inercial

A sonda Voyager 2 foi lançada em 1977 e percorreu todo o Sistema Solar, passando próximo dos planetas e registrando as fotos que foram enviadas à Terra. Atualmente, ela já está fora do Sistema Solar, afastando-se do Sol a uma velocidade de intensidade próxima de 55.000 km/h. A Voyager 2 não é empurrada nem puxada por nenhum corpo ou astro. Então, como ela mantém sua velocidade?



NASA/HULTON ARCHIVE/GETTY IMAGES

Sonda Voyager 2.

Galileu propôs que todo corpo tende a manter seu estado de repouso ou de movimento e que essa tendência permanece até que ele interaja com outro corpo, alterando assim sua situação. Esse é o conceito de **inércia**. Ao dizer que um corpo tem inércia, estamos nos referindo à tendência desse corpo de permanecer parado ou de manter seu movimento – a intensidade, a direção e o sentido de sua velocidade – no vácuo. Na época de Galileu, acreditava-se que o vácuo não existia; logo, essa situação era hipotética. Galileu propôs esse modelo para explicar que o fato de os corpos caírem em linha reta não era justificativa para afirmar que a Terra está parada, o que se acreditava até então. Ele afirmava que, se a Terra está em movimento, ao soltar um objeto de determinada altura, ele também está em movimento lateral. Durante a queda, o objeto adquire movimento vertical, mas mantém o movimento lateral inicial. Esse raciocínio contribuiu para a construção de uma nova visão do mundo e do Universo.

Primeira lei de Newton

Newton escreveu, 96 anos após a publicação do estudo de Galileu, uma das obras mais importantes da Ciência: *Princípios matemáticos da Filosofia Natural* (os *Principia*). Nesse trabalho, são apresentadas de forma sistemática, organizada e matemática

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

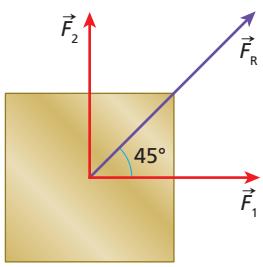
FSTOP IMAGES - CASPAR BENSON/BRAND X/GETTY IMAGES

Simulação com boneco de teste de impacto para verificar a eficiência do cinto de segurança e do *airbag*, que impedem que motorista e passageiros mantenham o movimento inercial em caso de freadas bruscas ou colisões.

todas as bases da Mecânica. Newton atribui ao **princípio da inércia** o nome de primeira lei, posteriormente chamada de **primeira lei de Newton**. Segundo esse princípio, todo corpo tende a se manter em repouso ou em movimento em linha reta com velocidade constante sempre que a resultante de todas as forças aplicadas sobre ele for nula.

Como **resultante das forças**, entende-se a soma vetorial de todas as forças aplicadas no corpo, considerando suas intensidades, suas direções e seus sentidos.

Quando estamos em um carro em movimento e ele freia bruscamente, nosso corpo tende a manter seu movimento, em linha reta, na velocidade com que vinha se deslocando até então. É comum as pessoas falarem que foram "arremessadas para a frente". Na verdade, contudo, como nenhuma força significativa atuou na direção do deslocamento, o movimento da pessoa se manteve, sendo que o carro é que ficou mais devagar. Esse é mais um exemplo de movimento inercial, e é daí que vem a importância do cinto de segurança e do *airbag*. Eles servem para que, quando o carro diminui a intensidade da velocidade repentinamente, durante uma colisão, por exemplo, o motorista e os passageiros também tenham a intensidade de suas velocidades reduzida pelas forças exercidas pelos dispositivos de segurança.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Em um diagrama de corpo livre, todas as forças atuantes no objeto são representadas, e o vetor força resultante é dado pela soma vetorial dessas forças.

Para determinar a resultante das forças que atuam sobre um objeto, utilizamos um **diagrama de corpo livre**. Esse diagrama é uma representação gráfica que permite visualizar os vetores correspondentes a todas as forças aplicadas ao objeto, considerando o módulo, a direção e o sentido de cada força. Por exemplo, se um objeto é submetido a uma força horizontal ($\vec{F}_1$) e, simultaneamente, a uma segunda força ($\vec{F}_2$) de mesma intensidade, mas direcionada verticalmente para cima, a força resultante ($\vec{F}_R$) será diagonal, formando um ângulo de 45° em relação a cada uma das forças originais.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Considere que você precisa empurrar dois objetos de massas diferentes. Ao tentar mover o objeto de maior massa sobre um plano horizontal sem atrito, você percebe que precisa aplicar uma força muito maior do que a necessária para mover o objeto de menor massa em iguais condições. Considerando o conceito de inércia, que descreve a tendência de um objeto se manter em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme, qual dos dois objetos você diria que tem maior inércia? Explique.
1. O objeto de maior massa.
2. Com base na primeira lei de Newton, o que podemos concluir sobre a força resultante atuando em um corpo que se desloca em movimento inercial? 2. É nula.

Forças

Para alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo, alguma força externa deve ser aplicada sobre ele; seja para um carro acelerar ou frear, um foguete decolar, um corredor de 100 metros rasos largar, seja para chutar uma bola ou para o goleiro fazer uma defesa. A alteração do movimento a fim de deixá-lo mais rápido, desacelerá-lo ou mudar sua direção está sempre associada a uma ou mais forças externas. Veremos a seguir algumas forças capazes de produzir essas alterações e suas características.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Força gravitacional ou peso

Uma das primeiras forças que experimentamos é o **peso**, pois desde bebês brincamos com seus efeitos, percebendo como os objetos caem ou solicitam maior ou menor esforço para que sejam sustentados. Quando aprendemos a andar, o fazemos mediante um equilíbrio que é alterado continuamente. Nosso corpo é constantemente atraído para baixo pela Terra. Desprezados os efeitos ligados à rotação, essa força com a qual a Terra ou qualquer outro astro atrai os objetos para seu centro é chamada de **força gravitacional** ou simplesmente **peso** ($\vec{P}$).

Quanto maior a massa (m) do corpo, mais intensa é a força de atração gravitacional. Com isso, estabelece-se uma proporção direta, sendo a razão entre a força peso e a massa uma grandeza que depende do local onde o peso está sendo medido, chamada de **aceleração da gravidade** $\left(\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}\right)$.

A intensidade da aceleração da gravidade (g) em um local é igual à intensidade da aceleração de um corpo em queda livre. Se conhecermos a aceleração da gravidade no local, podemos calcular o peso de um corpo de massa m por meio da equação:

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Nas proximidades da superfície terrestre, desprezados os efeitos relacionados à rotação do planeta Terra, a intensidade de $\vec{g}$ é aproximadamente 9,8 m/s^2.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida de força é o **newton** (**N**), em homenagem a Isaac Newton, sendo 1 N = 1 kg · m/s^2.

Na visão aristotélica da Mecânica, quanto maior a massa de um corpo, mais rápido ele tende a cair. No entanto, Galileu, ao formular suas teorias a respeito dos movimentos dos corpos sob a ação exclusiva da gravidade, afirmou que a aceleração com a qual um corpo cai independe de sua massa.

Em 1971, o astronauta estadunidense David Scott (1932-), tripulante da missão Apollo 15, soltou próximo à superfície da Lua, local com uma atmosfera muito tênue, um martelo e uma pena, simultaneamente, de uma altura de aproximadamente 1,6 metro. Os objetos se deslocaram com a mesma aceleração e atingiram a superfície lunar ao mesmo tempo, confirmando a hipótese de Galileu. Claramente essa confirmação já havia sido feita em diversos outros momentos, porém seu feito teve valor histórico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considerando um martelo de massa 1,3 kg, a intensidade da aceleração da gravidade próximo à superfície da Terra igual a 9,8 m/s^2 e a intensidade da aceleração da gravidade próximo à superfície da Lua igual a 1,6 m/s^2, qual é a intensidade do peso do martelo próximo às superfícies da Terra e da Lua?

Em relação à Terra, temos:

$P = mg \Rightarrow P_{Terra} = 1{,}3 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m/s}^2 \therefore P_{Terra} = 12{,}74 \text{ N}$

A intensidade do peso do martelo na superfície da Lua é:

$P = mg \Rightarrow P_{Lua} = 1{,}3 \text{ kg} \cdot 1{,}6 \text{ m/s}^2 \therefore P_{Lua} = 2{,}08 \text{ N}$

Isso quer dizer que o peso de um objeto próximo à superfície da Terra tem intensidade cerca de seis vezes a intensidade do peso do mesmo objeto próximo à superfície da Lua, embora sua massa seja a mesma em qualquer local.

Fique por dentro

Experimento de Galileu em solo lunar

PENA e martelo caindo […]. Londrina: Grupo GEDAL, 2022. 1 vídeo (1 min 47 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DYe0gF116Po. Acesso em: 21 abr. 2024.

O vídeo mostra o experimento de Galileu realizado em solo lunar pelo astronauta estadunidense David Scott durante a missão Apollo 15, em 1971.

Comente com os estudantes que, no ambiente lunar, a atmosfera é muito tênue; por isso, se abandonados simultaneamente da mesma altura, o martelo e a pena atingem o solo juntos, lado a lado, mesmo considerando que o martelo tenha massa maior que a pena. Na superfície da Terra, na ausência de resistência do ar, os objetos também atingiriam o solo juntos, já que a intensidade da aceleração com a qual um corpo cai independe de sua massa.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

EM FOCO Astrodinâmica e viagem a Marte

Perdido em Marte é um filme de ficção científica lançado em 2015, dirigido pelo cineasta britânico Ridley Scott e baseado no livro homônimo do escritor estadunidense Andy Weir. A trama acompanha a história do astronauta Mark Watney, que é dado como morto após uma tempestade em Marte e acaba sendo deixado para trás por sua tripulação, que se dirige à Terra. Sozinho e com recursos limitados, Watney deve usar sua engenhosidade e suas habilidades científicas para sobreviver enquanto tenta estabelecer contato com a Terra. A Nasa (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos), ao saber que o astronauta continua vivo em Marte, trabalha incansavelmente para trazê-lo de volta.

Para salvar Watney, o cientista Rich Purnell, da área da Astrodinâmica, apresenta uma solução. Purnell propõe que a Hermes, nave com a tripulação que está voltando para a Terra, em vez de desacelerar para entrar na órbita terrestre, acelere imediatamente ao se aproximar do planeta e utilize a força da gravidade entre ela e a Terra para ganhar velocidade e ajustar seu curso em direção a Marte novamente, para o resgate de Watney. Durante essa aproximação, a Hermes seria reabastecida por uma sonda enviada da Terra com as provisões necessárias para a nova viagem.

COURTESY EVERETT COLLECTION/FOTOARENA

Rich Purnell explicando seu plano em cena do filme *Perdido em Marte* (2015).

Ao se aproximar de Marte, a Hermes estaria rápida demais para entrar em órbita, mas sobrevoaria o planeta, possibilitando que Watney interceptasse a nave utilizando o Veículo de Ascensão a Marte, um veículo fictício que transforma o metano da atmosfera de Marte em combustível e o utiliza para poder se deslocar até as proximidades da órbita do planeta. Após o resgate, a tripulação voltaria para casa, completando a missão. O astrodinâmico Rich Purnell deixa claro que fez todos os cálculos necessários para garantir que a missão de resgate proposta seja bem-sucedida, mas, nas condições apresentadas no filme, não é possível testar experimentalmente sua proposta.

1. Rich Purnell é mostrado como o único responsável por uma solução para um problema complexo, o que pode levar o público a pensar que cientistas trabalham sozinhos no desenvolvimento de projetos, modelos e teorias; reforçando o estereótipo do cientista como gênio solitário.

1. O personagem Rich Purnell é um jovem astrodinâmico da Nasa que estuda o movimento de satélites artificias, sondas e naves espaciais sob a influência da interação gravitacional com diferentes corpos celestes e trabalha na solução de problemas complexos relacionados a missões espaciais. No filme, Purnell, sozinho, propõe uma solução para o resgate do astronauta Mark Watney em Marte, mas na realidade da prática científica o desenvolvimento de modelos, teorias, projetos científicos e a solução de problemas científicos complexos são trabalhos colaborativos. Como essa representação do filme pode impactar o entendimento do público sobre os cientistas e sobre seu trabalho?

2. No filme, como parte da missão de resgate, Watney deve utilizar o Veículo de Ascensão a Marte para sair do planeta e interceptar a nave Hermes, que o trará de volta à Terra. Atualmente, apenas veículos robóticos não tripulados foram enviados a Marte, para estudar as condições ambientais do planeta e coletar amostras. Na realidade, sair de Marte é um dos maiores obstáculos para as agências espaciais que atualmente planejam missões tripuladas ao planeta. Pesquise os desafios atuais enfrentados por agências espaciais como a Nasa no planejamento de missões tripuladas a Marte. Descreva em um pequeno texto os principais desafios e as possíveis soluções propostas pelas agências espaciais e seus cientistas.

Na realidade, a Ciência é resultado do trabalho colaborativo, em que diversos especialistas se dedicam a resolver os problemas e a validar soluções. A ficção pode simplificar o papel dos cientistas, ao deixar de representar a importância do trabalho em equipe e da colaboração no processo científico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Força normal

Observe a figura a seguir. Com os pés, o atleta aplica uma força sobre a plataforma do *leg press*, aparelho de musculação. De fato, para que estique as pernas, o atleta deve empurrar a superfície da plataforma. A figura mostra, de forma esquemática, o par de forças trocado entre os pés e a plataforma. Forças como essas, que são trocadas por superfícies em contato que se empurram mutuamente, são chamadas de **força normal** ($\vec{F}_N$). A direção dessa força é sempre perpendicular às superfícies de contato entre os corpos.

RENAN ORACIC/ARQUIVO DA EDITORA

Nesse exercício físico, forças são aplicadas entre os pés e a plataforma do aparelho de musculação.

Força de tração

Na figura, um atleta se pendura verticalmente em uma corda. A força gravitacional puxa-o para baixo. Quando o atleta está em repouso, em uma situação de equilíbrio, de acordo com a primeira lei de Newton, a resultante das forças aplicadas no atleta deve ser nula; para isso, alguma força deve atuar no atleta no sentido contrário, para cima.

Há, nesse caso, mais um par de forças entre as mãos do atleta e a corda; ele puxa a corda para baixo e é, simultaneamente, puxado pela corda para cima. Forças como essa, que são aplicadas por cordas e cabos, são chamadas de **forças de tração** ($\vec{T}$).

A força de tração, assim como a força normal, necessita do contato entre as superfícies dos corpos para ocorrer. Forças que necessitam do contato entre as superfícies são chamadas de forças de contato, e as que não necessitam de contato são chamadas de forças de campo, como é o caso da força peso e da força magnética entre dois ímãs relativamente próximos.

Força de atrito

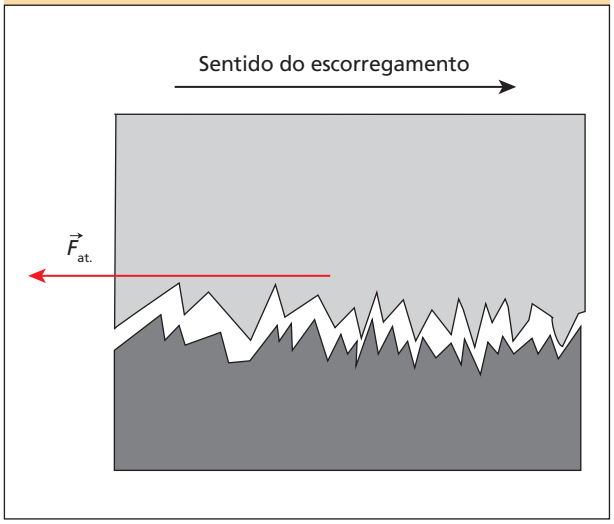
A força de atrito dinâmico pode ser observada em diversas situações de escorregamento: quando o corpo de um jogador desliza sobre o piso da quadra; quando as rodas de um carro derrapam no chão deixando marcas sobre o asfalto por causa de uma freada brusca; quando uma lousa é riscada com um giz etc. Em todas essas situações, as rugosidades das superfícies dos corpos em contato se interpenetram, como mostra a figura, e o escorregamento, para ocorrer, deve ser forçado. Além disso, como há movimento relativo entre as duas superfícies e interpenetração das rugosidades, ocorre o desgaste dos materiais.

RENAN ORACIC/ARQUIVO DA EDITORA

Ao se pendurar em uma corda, há um par de forças que atuam entre as mãos do atleta e a corda. O atleta é puxado para baixo por seu peso, sendo sustentado pela força de tração exercida pela corda.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atrito entre superfícies rugosas



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Physics for scientists and engineers**. 6th. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Representação esquemática de duas superfícies rugosas se interpenetrando. Ao movimentar a superfície superior para a direita, uma força para a esquerda passa a atuar sobre esta, no sentido contrário ao escorregamento, em virtude do contato entre as rugosidades. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Uma característica da **força de atrito** ($\vec{F}_{at.}$) é que sua direção é sempre paralela (ou tangencial) à região de contato, e seu sentido é contrário ao sentido do escorregamento ou da tendência de escorregamento.

Quanto maior for a intensidade da força normal devido à compressão entre as superfícies em contato, maior será a intensidade da força de atrito dinâmico. A razão aproximada entre as intensidades dessas duas forças pode ser calculada na maioria dos casos de atrito seco, ou seja, quando não há um material lubrificante entre as superfícies, e é uma constante.

$$\frac{F_{at.}}{F_N} \text{ é constante}$$

Essa constante é chamada de **coeficiente de atrito dinâmico** (μ_d), e seu valor depende dos materiais que compõem as superfícies. Podemos escrever a equação da intensidade da **força de atrito dinâmico** como:

$$F_{at.} = \mu_d \cdot F_N$$

Nas situações em que há tendência de escorregamento, mas ele não ocorre, a força de atrito é denominada **força de atrito estático**. Assim como a força de atrito dinâmico, a força de atrito estático ocorre devido à interpenetração das rugosidades das superfícies de contato. Porém, no caso estático, o escorregamento não acontece, de forma que as rugosidades permanecem inalteradas e não há desgaste do material.

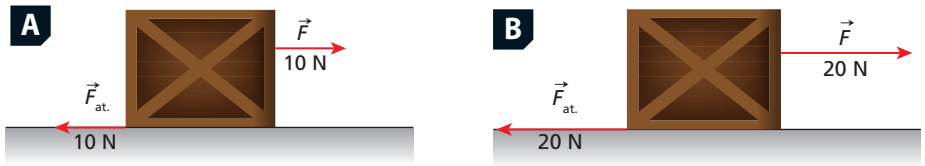
DRAGON IMAGES/SHUTTERSTOCK

Durante a escalada, para evitar o escorregamento, muitas vezes se utiliza um pó feito com magnésio, que aumenta o atrito estático máximo entre as mãos da pessoa que está escalando e a superfície.

Diferentemente da força de atrito dinâmico, a força de atrito estático não tem um valor determinado que possa ser calculado a partir de uma expressão. A intensidade da força de atrito estático depende do esforço que está sendo executado para tentar retirar o corpo da situação de equilíbrio, ou seja, de seu estado de repouso.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se aplicarmos uma força de intensidade 10 N em um corpo em repouso sobre uma superfície horizontal áspera, a força de atrito estático necessária para mantê-lo em repouso terá intensidade 10 N (figura A). Se aplicarmos uma força de intensidade 20 N, a intensidade necessária para a força de atrito estático manter o corpo em repouso será 20 N (figura B), e assim por diante. Porém, essa situação tem um limite.



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação esquemática de uma força $\vec{F}$ de intensidade 10 N atuando sobre um corpo e da força de atrito estático ($\vec{F}_{at.}$) necessária para mantê-lo em repouso. **(B)** Representação esquemática de uma força $\vec{F}$ de intensidade 20 N atuando sobre um corpo e da força de atrito estático ($\vec{F}_{at.}$) necessária para mantê-lo em repouso. A intensidade da força de atrito estático depende da força que está atuando no corpo. (Imagens sem escala.)

Existe uma força máxima que pode ser aplicada antes de o corpo sair da situação de repouso. Esse valor corresponde à **intensidade máxima da força de atrito estático** ($F_{at.\,máx.}$). A intensidade máxima da força de atrito estático, também chamada **força de atrito de destaque**, é proporcional à intensidade da força normal, assim como a intensidade da força de atrito dinâmico. Porém, a constante de proporcionalidade para o caso do valor máximo da força de atrito estático, chamada **coeficiente de atrito estático** (μ_e), é diferente da constante de proporcionalidade para o caso dinâmico (μ_d). Para a intensidade máxima da força de atrito estático, temos:

$$F_{at.\,máx.} = \mu_e \cdot F_N$$

O valor de μ_e também depende dos materiais que compõem as superfícies. Na tabela a seguir, são apresentados valores dos coeficientes de atrito estático e dinâmico para alguns materiais que compõem superfícies em atrito.

Coeficientes de atrito estático e dinâmico para alguns materiais em atrito

Materiais	Coeficiente de atrito estático (μ_e)	Coeficiente de atrito dinâmico (μ_d)
Borracha sobre concreto	1,00	0,80
Alumínio sobre aço	0,61	0,47
Madeira sobre neve molhada	0,14	0,10
Gelo sobre gelo	0,10	0,03

Fonte: SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física**: Mecânica Clássica e relatividade. Tradução da 5. ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 1.

Valores dos coeficientes de atrito estático (μ_e) e dinâmico (μ_d) para alguns materiais em atrito.

Note que o coeficiente de atrito estático é sempre maior que o coeficiente de atrito dinâmico. Logo, é necessário aplicar uma força de intensidade maior para retirar o corpo do repouso, devido ao valor máximo da intensidade da força de atrito estático, do que para manter o corpo em movimento uniforme com atrito dinâmico.

Exemplo

Uma pessoa empurra uma caixa com massa de 50 kg, apoiada sobre uma superfície plana e horizontal. A pessoa aplica na caixa uma força na direção horizontal de intensidade *F*. O coeficiente de atrito estático vale $\mu_e = 0{,}4$, e o coeficiente de atrito dinâmico vale $\mu_d = 0{,}2$. Quais são as intensidades das forças de atrito estático máxima e de atrito dinâmico nessa situação?

Primeiro, vamos calcular a intensidade da força normal. Nessas condições, em que a superfície de apoio é plana e horizontal, a força normal tem o mesmo módulo que o peso, pois as forças verticais aplicadas na caixa se equilibram; logo:

$$F_N = P \Rightarrow F_N = m \cdot g \Rightarrow F_N = 50\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 \therefore F_N = 500\ \text{N}$$

A intensidade máxima da força de atrito estático será:

$$F_{at.\,máx.} = \mu_e \cdot F_N \Rightarrow F_{at.\,máx.} = 0{,}4 \cdot 500\ \text{N} \therefore F_{at.\,máx.} = 200\ \text{N}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Isso quer dizer que, se a pessoa aplicar uma força com intensidade de até 200 N, a caixa não sairá do lugar.

Se ela iniciar o deslizamento da caixa aplicando uma força de intensidade inicialmente maior que 200 N, a força de atrito se tornará dinâmica, cuja intensidade é calculada por:

$$F_{at.} = \mu_d \cdot F_N \Rightarrow F_{at.} = 0{,}2 \cdot 500\ \text{N} \therefore F_{at.} = 100\ \text{N}$$

Portanto, ao iniciar o deslizamento, se a pessoa reduzir a força para 100 N, a caixa continuará em movimento retilíneo uniforme, com a intensidade da resultante das forças aplicadas sobre ela igual a zero.

Força elástica

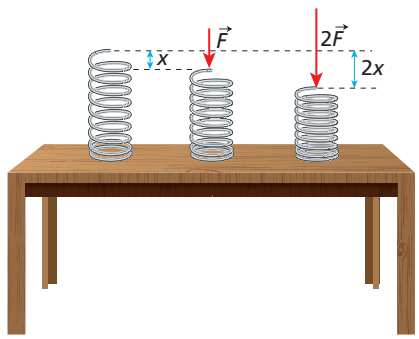
NIXX PHOTOGRAPHY/SHUTTERSTOCK

A mola azul faz parte do sistema de suspensão de um automóvel.

Imagine-se sendo transportado por um carro cujas rodas estivessem rigidamente presas ao chassi, sem nenhum amortecimento. Qualquer oscilação da roda seria transmitida diretamente ao veículo todo, tornando sua viagem insuportável. Em um veículo, o sistema de suspensão, além de promover a estabilidade, mantém o peso distribuído em molas, tornando independente o movimento de trepidação dos eixos. Por isso, quando passamos sobre pequenos buracos ou pedras, não sentimos tão bruscamente solavancos e trepidações.

As molas de um carro, assim como as molas de diversos equipamentos, têm a propriedade de ser **elásticas**, isto é, de passar por **deformações** causadas por forças aplicadas sobre elas. No entanto, retirando-se as forças deformadoras, elas retornam ao comprimento original. A deformação *x* pode ser definida como a variação no comprimento da mola em relação a seu comprimento natural.

No exemplo da figura a seguir, há, sobre uma mesa, três molas iguais de massas desprezíveis. A mola da esquerda está com seu comprimento natural. Na mola central, é aplicada uma força de intensidade *F*, que faz com que seu comprimento seja reduzido de um valor *x*. Perceba que, para a compressão ser de 2*x*, na mola da direita, é necessário aplicar uma força com intensidade 2*F*.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da relação entre a deformação de uma mola e a força aplicada. (Imagem sem escala.)

A relação entre a intensidade da **força elástica** ($\boldsymbol{F_{elást.}}$), que é o nome dado ao módulo da força aplicada sobre a mola ou pela mola, e a deformação *x* nos materiais elásticos é uma constante chamada **constante elástica da mola** (***k***). Essa relação pode ser expressa por:

$$\frac{F_{elást.}}{x} = k \text{ ou } F_{elást.} = k \cdot x$$

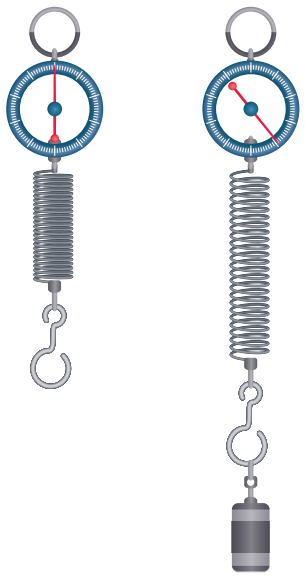
Essa proporcionalidade é conhecida como **lei de Hooke**, em homenagem ao cientista inglês Robert Hooke (1635-1703), que demonstrou a relação entre a força aplicada a uma mola e sua correspondente deformação.

A unidade de medida da constante elástica é N/m, no Sistema Internacional de Unidades (SI). Essa unidade de medida representa a intensidade da força, em newton, que deve ser aplicada na mola para deformá-la em 1 m (unidade-base de medida de comprimento no SI). Na prática, ela estabelece a proporção entre a intensidade da força aplicada e a deformação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

NA PRÁTICA Construção de um dinamômetro simples

O **dinamômetro** é um instrumento usado para medir a intensidade de forças mecânicas, como o peso. Um tipo de dinamômetro usualmente empregado é o de mola, que tem seu comprimento alterado de acordo com a intensidade da força aplicada. Quando o sistema está em equilíbrio, a força elástica tem a mesma intensidade que o peso do corpo a ser medido.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um dinamômetro de mola em duas situações distintas.

No passado, equipamentos como esse eram bastante utilizados no comércio, sobretudo em feiras livres, mas eles têm sido substituídos, de modo gradativo, por outros tipos de balança, sobretudo as eletrônicas, que oferecem maior sensibilidade e precisão.

OBJETIVO

Construir um dinamômetro simples e analisar seu funcionamento de acordo com a lei de Hooke.

MATERIAIS

- 1 mola helicoidal de plástico (como as molas de cadernos).
- 2 garrafas PET transparentes com capacidade de 500 mL.
- 1 gancho com rosca de 8 mm de diâmetro.
- 1 gancho S de duas pontas.
- 3 objetos leves de massas conhecidas.
- Fita adesiva reforçada transparente.
- Caneta permanente.
- Régua graduada em centímetro.
- Tesoura com pontas arredondadas.
- Papel e caneta para o registro dos dados ou um computador com um aplicativo de planilha eletrônica instalado.

PROCEDIMENTO

- Fixe o gancho com rosca à parte interna da tampa de uma das garrafas.
- Em seguida, pendure uma das extremidades da mola no gancho, utilizando fita adesiva para reforçar a conexão. Certifique-se de que as fixações ficaram bem firmes.
- Com a tesoura, corte a base inferior de uma das garrafas PET e as extremidades inferior e superior da outra garrafa PET, obtendo um tubo.

É recomendável que o professor seja o responsável por fazer os cortes necessários durante a montagem do dinamômetro.

Cuidado com extremidades pontiagudas, como as da mola, e ao manusear a tesoura e outros objetos cortantes para evitar ferimentos.
As aparas das garrafas PET e da mola devem ser descartadas no lixo apropriado.
O restante do material pode ser limpo e guardado para futuro reaproveitamento.

- Rosqueando a tampa na garrafa, aloje a mola dentro dela.
- Em seguida, utilizando fita adesiva transparente reforçada, conecte o tubo obtido à extremidade inferior da garrafa que contém a mola.

DOTTA 2/ARQUIVO DA EDITORA

Construção do aparato experimental.

- Acople o gancho S à extremidade livre da mola, utilizando fita adesiva para reforçar a conexão. Esse gancho será usado para pendurar os objetos a serem pesados. Certifique-se da boa fixação. Se necessário, ajuste o comprimento da mola.
- Para calibrar o instrumento, com o dinamômetro suspenso em posição vertical, no corpo de plástico da garrafa, faça com a caneta permanente um traço horizontal alinhado com a posição da extremidade inferior do gancho. Esse traço indica a posição zero do dinamômetro, o referencial a partir do qual a variação no comprimento da mola será medida.
- Construa uma tabela no caderno ou utilizando um aplicativo de planilha eletrônica para computador ou *smartphone* para registrar os dados: massa (m), variação do comprimento (ΔL) e intensidade do peso do objeto suspenso (P), que deve ser calculada a partir da relação: $P = m \cdot g$. Considere $g = 10\ m/s^2$.
- Em seguida, pendure o primeiro objeto no gancho e, no corpo de plástico da garrafa, faça com a caneta

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação Os estudantes podem utilizar três objetos idênticos de massa conhecida, como três unidades de um bombom, por exemplo, cuja massa é indicada na embalagem.

permanente outro traço horizontal alinhado agora com a nova posição da extremidade inferior do gancho.

- Com a régua, meça a variação no comprimento da mola, que corresponde à distância entre os dois traços horizontais, em centímetro. Registre esse dado na tabela.
- Pendure agora, de maneira sucessiva e acumulativa, o segundo e o terceiro objetos e assinale no corpo da garrafa as respectivas posições da extremidade inferior do gancho.

DOTTA 2/ARQUIVO DA EDITORA

Aparato experimental pronto.

- Meça a variação do comprimento para as duas novas situações, sempre em relação à posição zero do dinamômetro. Registre os dados na tabela. Não se esqueça de indicar também as unidades de medida utilizadas nas medições.
- Para aumentar a precisão da escala, você poderá fazer com a régua subdivisões equidistantes menores que aquelas obtidas com os três objetos.

1. O gráfico é uma linha reta, inclinada em relação à horizontal.

1. Utilize os dados registrados na tabela para representar, em um gráfico cartesiano, a variação do comprimento da mola em função da intensidade dos pesos dos corpos suspensos, $P \times \Delta L$. O gráfico pode ser construído no caderno ou no aplicativo de planilha eletrônica, selecionando as colunas P e ΔL da tabela e depois a função "Inserir gráfico".
2. Como o gráfico esboçado se relaciona com a lei de Hooke? 2. Deve mostrar uma relação linear direta entre a intensidade da força peso e a variação do comprimento da mola.
3. Determine a constante elástica da mola utilizada em seu dinamômetro.
4. Se você usasse uma mola de constante elástica maior, considerando as mesmas variações de comprimento (ΔL) registradas na tabela, seria necessária uma força de maior ou menor intensidade para sua deformação? 4. Maior.

3. A constante elástica da mola pode ser determinada pela relação $\frac{P}{\Delta L} = k$ ou pelo coeficiente angular da reta.

Fique por dentro

Massas e molas

PhET Interactive Simulations. **Massas e molas.** Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 21 abr. 2024.

Com esse simulador, é possível verificar a proporcionalidade descrita pela lei de Hooke utilizando corpos de diferentes massas.

Segunda lei de Newton

Imagine que queremos acelerar três veículos: um carro de boi com massa de 3.000 kg, uma locomotiva a vapor com massa de 200.000 kg e um foguete com massa de 1.000.000 kg, com aceleração de mesma intensidade. Como a massa de cada um é distinta, precisamos de forças resultantes diferentes para modificar o movimento de cada um. Por exemplo, para acelerar a locomotiva em 1 m/s^2, precisaremos de uma força de intensidade maior do que aquela necessária para acelerar o carro de boi, também, em 1 m/s^2, assim como para acelerar o foguete em 1 m/s^2 é necessária uma força de intensidade maior do que aquela necessária para acelerar a locomotiva em 1 m/s^2. Ao deduzir o que chamamos hoje de **segunda lei de Newton**, Newton estabeleceu a relação entre a resultante das forças ($\vec{F}_R$) e a aceleração ($\vec{a}$) em um objeto de massa m.

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

A unidade de medida da intensidade da resultante das forças será a mesma da unidade de medida de força, ou seja, 1 kg · m/s^2 = 1 N.

De acordo com a segunda lei de Newton, a direção e o sentido da resultante das forças e da aceleração são sempre os mesmos, uma vez que o valor de m é sempre positivo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Durante uma cobrança de escanteio em um jogo de futebol, ao chutar a bola inicialmente em repouso, o jogador aplica com o pé uma força (força de contato) sobre ela. Sendo 450 g a massa da bola e sabendo que ela atingiu uma velocidade de intensidade 30 m/s após o chute que durou 8 ms (1 ms = 10^{-3} s), determine a intensidade média da resultante das forças sobre a bola.

Durante o chute, no período de aceleração da bola, o movimento pode ser considerado retilíneo. Em um movimento retilíneo, como a velocidade inicial da bola era nula, a intensidade da aceleração é dada por:

$$a_{bola} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_{bola} = \frac{30\ m/s - 0\ m/s}{0{,}008\ s} \therefore a_{bola} = 3.750\ m/s^2$$

Para calcular a intensidade média da resultante das forças, basta multiplicar o valor da aceleração pela massa da bola, em quilograma. Assim, a intensidade média da resultante das forças é igual a:

$$F_{R_{bola}} = m_{bola} \cdot a_{bola} \Rightarrow F_{R_{bola}} = 0{,}45\ kg \cdot 3.750\ m/s^2 \therefore F_{R_{bola}} = 1.687{,}5\ N$$

É muito importante não confundir o sentido da aceleração com o sentido do movimento, pois muitas vezes o movimento está no sentido oposto ao da resultante das forças.

Em relação aos **movimentos retilíneos**, sabemos que:

- se a resultante das forças tem o mesmo sentido do movimento, o movimento é **acelerado**;
- se a resultante das forças tem sentido contrário ao do movimento, o movimento é **retardado**.

Terceira lei de Newton

O cabo de guerra é uma atividade esportiva popular de demonstração de força física praticada por diversas culturas ao longo da história, em diferentes regiões, como nas Américas do Sul e Central, no nordeste da África, na Índia e na China, com diferentes propósitos, como forma de socialização e cooperação, cerimonialmente e no treinamento de guerreiros, por exemplo.

Em uma competição de cabo de guerra, duas equipes puxam uma corda em sentidos opostos com o objetivo de trazê-la para seu lado do campo, derrubando a equipe adversária. Ao analisar a situação, notamos que não só os atletas puxam a corda exercendo uma força, mas a corda também puxa os atletas para a frente, exercendo uma força. São forças trocadas mutuamente entre as mãos dos atletas e a corda.

LUIS ACOSTA/GETTY IMAGES

Atletas indígenas panamenhos dos grupos Ngäbe (à esquerda) e Guna (à direita) disputando cabo de guerra na terceira edição dos Jogos Ancestrais Indígenas no Panamá (Pueblo Nuevo Büri, Panamá, 2021).

Portanto, sempre que um corpo *A* aplica força em um corpo *B*, a recíproca acontece, ou seja, o corpo *B* também aplica força no corpo *A*. Newton enunciou essa afirmação como a terceira lei, que mais tarde passou a ser chamada de **terceira lei de Newton** ou **lei da ação e reação**. De acordo com essa lei, temos:

Sempre que um corpo *A* aplicar uma força $\vec{F}$ em um corpo *B* (ação), o corpo *B* aplicará uma força $-\vec{F}$ no corpo *A* (reação), ou seja, uma força com a mesma intensidade e a mesma direção, porém no sentido contrário.

No lançamento de um foguete, por exemplo, o princípio de funcionamento dos motores baseia-se na terceira lei de Newton. Quando os motores entram em

Professor, neste tópico, retome a questão proposta na abertura do capítulo: "Mas o que acontece quando os motores param de funcionar?".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

funcionamento, eles ejetam gás aquecido para baixo e, de acordo com a lei da ação e reação, os gases expelidos exercem uma força que impulsiona o foguete para cima. Quando os motores param de funcionar, com a queima de todo o combustível disponível, a força dos gases expelidos deixa de atuar e o foguete fica apenas sob a ação da força gravitacional, que pode mantê-lo em órbita ou fazê-lo retornar para a Terra, em queda.

Outro exemplo da lei da ação e reação é representado na figura a seguir. No rosto do jogador e na bola atuam forças de ação e reação, ou seja, forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, aplicadas em corpos diferentes. A força de ação está aplicada no rosto do jogador, e a força de reação está aplicada na bola. A atuação dessas forças durante o breve intervalo de tempo em que ocorre o contato é evidente na imagem, por meio das deformações no rosto do jogador e na bola.

ZUMA PRESS/EASY MEDIABANK

Devido à ação e reação, o rosto do jogador de futebol Elliot Lee e a bola se deformam (Reino Unido, 2023).

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Mencione e explique a qual lei de Newton se refere cada afirmação a seguir.

a. Corpos de massas maiores aceleram menos que corpos de massas menores se a mesma força resultante for aplicada para movimentá-los.

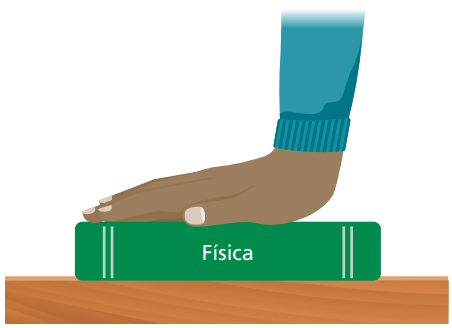
b. Quando um martelo bate em um prego, o prego também aplica força no martelo.

c. Quando estão em um ônibus, os passageiros em pé se seguram nas barras de apoio, pois a tendência de manter o movimento faria com que eles se movimentassem em relação ao ônibus na ocasião de uma freada, caso não se segurassem.

3. a. Segunda lei de Newton.
3. b. Terceira lei de Newton.
3. c. Primeira lei de Newton.

4. Reproduza a figura a seguir esquematicamente no caderno e represente todas as forças que atuam no livro nessa situação, destacando os pares ação e reação. Admita que a compressão que a pessoa exerce no livro seja perpendicular à bancada de apoio.

4. Construção de diagrama de corpo livre.



5. Imagine que você segure com uma das mãos um cilindro com o eixo longitudinal na vertical, como um rolo abridor de massas, mantendo-o em repouso. Se você for afrouxando os dedos que enlaçam o cilindro, ele deslizará e acabará caindo, podendo até machucar seus pés; portanto, cuidado! Com base nos conceitos estudados sobre forças de atrito, explique por que o afrouxamento dos dedos permite que o cilindro caia.

5. Em determinado instante, a intensidade do peso do cilindro supera a intensidade da força de atrito de destaque e o cilindro cai.

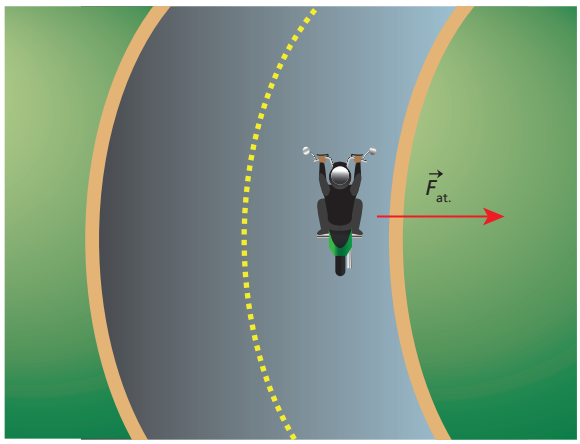
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Movimentos curvilíneos

A figura a seguir mostra um conjunto motociclista-moto que apresenta movimento circular horizontal, isto é, com trajetória que corresponde a um arco de circunferência contido em um plano sem inclinação. Nessa situação, vamos considerar as dimensões do conjunto desprezíveis. De acordo com a primeira lei de Newton, se o movimento não é retilíneo, a resultante das forças aplicadas não pode ser nula. As forças aplicadas no conjunto são o peso, a normal e a força de atrito. Como o movimento é horizontal, a força peso se equilibra com a força normal. Logo, a resultante das forças é a força de atrito, que aponta para o centro da circunferência, cujo arco descreve a trajetória.

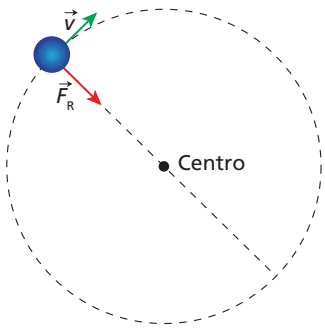
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática da força de atrito agindo sobre o conjunto motociclista-moto. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em todo **movimento circular uniforme** (**MCU**), a resultante das forças aplicadas tem direção que passa pelo centro da trajetória curva. Essa direção é chamada **radial**. Um vetor que está na direção radial e tem o sentido apontado para o centro é chamado **centrípeto**. Portanto, dizemos que a resultante das forças é centrípeta no MCU.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática da resultante das forças no MCU. (Imagem sem escala.)

No caso de um movimento circular e uniforme, a resultante das forças na direção radial é responsável apenas pela mudança na direção da velocidade, resultando na mudança da direção do movimento, não acelerando nem freando o corpo.

Aplicando a segunda lei de Newton, a resultante das forças na direção radial e apontada para o centro da trajetória, chamada **força centrípeta** ($\vec{F}_{cp}$), é dada por:

$$\vec{F}_{cp} = m\vec{a}_{cp}$$

Em que $\vec{a}_{cp}$ é a aceleração na direção radial, chamada de **aceleração centrípeta**.

O módulo da aceleração centrípeta (a_{cp}) de um objeto com velocidade de intensidade v em uma trajetória circular de raio R pode ser determinado por:

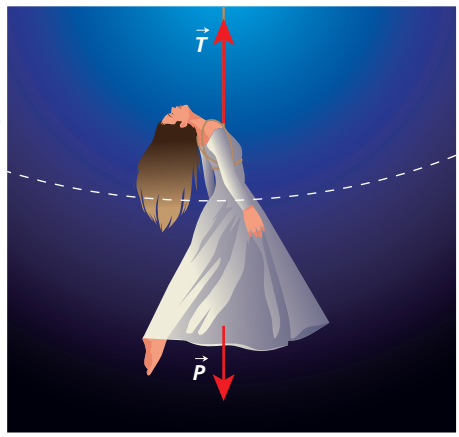
$$a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

Essa expressão pode ser verificada de maneira empírica com o exemplo da moto. Quanto mais rápida a moto estiver na curva, maior será a intensidade da força radial para que a curva seja feita, isto é, maior será a intensidade da força centrípeta requisitada pelo veículo em seu movimento circular.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Uma acrobata, presa a uma corda ideal, balança-se em um plano vertical descrevendo um movimento circular. A figura a seguir mostra o instante em que ela passa pelo ponto mais baixo de sua trajetória. Considerando que a acrobata tem massa de 50 kg, que sua velocidade tem intensidade de 3 m/s no instante considerado e que a corda tem comprimento de 5 m, qual é a intensidade da força de tração na corda nesse ponto? Adote $g = 10\ m/s^2$.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma acrobata passando pelo ponto mais baixo de sua trajetória circular. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No ponto mais baixo da trajetória, a acrobata não está acelerando (o que ocorre na descida) nem freando (o que ocorre na subida). Portanto, sendo nula a resultante tangencial nesse ponto, a resultante das forças que atuam sobre ela apresenta direção e sentido que passam pelo centro de curvatura da trajetória e apontam para esse mesmo centro, que está na vertical dela. Logo, a tração tem intensidade maior que o peso. De acordo com a expressão para a intensidade da força centrípeta, temos:

$$F_{cp} = m \cdot a_{cp} \Rightarrow m \cdot a_{cp} = T - P \Rightarrow m \cdot \frac{v^2}{R} = T - m \cdot g \Rightarrow T = m \cdot \frac{v^2}{R} + m \cdot g$$

Substituindo os valores da massa, da intensidade da velocidade, do comprimento da corda, que é igual ao raio da trajetória, e de *g*, calculamos a intensidade da força de tração:

$$T = m \cdot \frac{v^2}{R} + m \cdot g \Rightarrow T = 50\ kg \cdot \frac{9\ m^2/s^2}{5\ m} + 50\ kg \cdot 10\ m/s^2 \therefore T = 590\ N$$

Aplique e registre

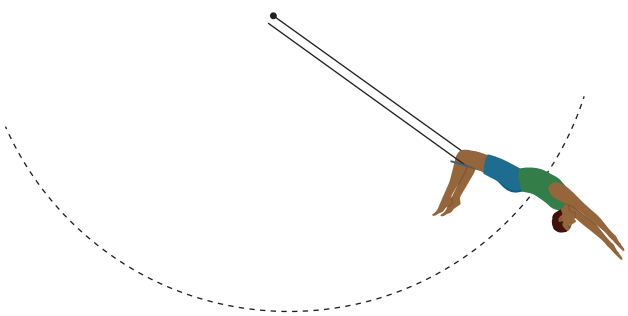
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

6. Em um movimento circular e uniforme, qual é a denominação da força resultante que mantém o objeto em sua trajetória circular? Em que direção e sentido atua essa força em relação à trajetória?

6. Força centrípeta. Direção: radial; sentido: de fora para o centro da curva.

7. Um homem se balança em um trapézio descrevendo arcos de circunferência contidos em um plano vertical.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um trapezista em trajetória circular. (Imagem sem escala.)

Faça um esquema dessa situação e represente no ponto mais baixo da trajetória do homem (de dimensões desprezíveis) as forças que agem em seu corpo. Represente também, nesse mesmo ponto, a direção e o sentido de sua velocidade. 7. Construção de diagrama de corpo livre.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Para um dinamômetro cujo comprimento da mola varia em 2 cm quando se pendura um objeto de 300 g de massa, qual é a constante elástica da mola? Considere $g = 10\ m/s^2$. 1. 150 N/m

2. (Enem) Com o objetivo de revestir o piso de uma rampa de acesso para cadeiras de rodas, determina-se que, sob a aplicação de uma força motora de até 200 N, não ocorra deslizamento dos pneus em relação à superfície de contato. Considera-se que a força normal que atua sobre o conjunto cadeira e cadeirante é de 800 N.

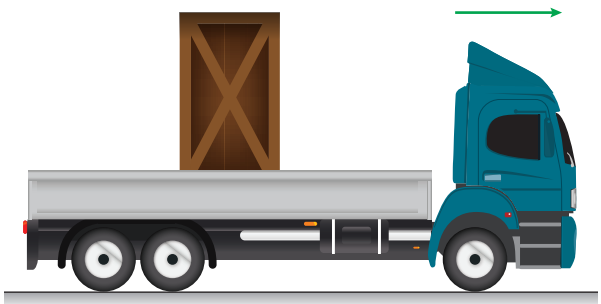
O quadro a seguir indica alguns materiais, seus respectivos coeficientes de atrito estático com a borracha dos pneus e seus custos referentes ao metro quadrado instalado. Cada cifrão ($) indica uma unidade monetária genérica.

Revestimento	Coeficiente de atrito	Custo do m² instalado
Cimento	0,20	$
Mármore	0,30	$$$$$
Madeira	0,35	$$
Carpete	0,45	$$$$
Lona	0,55	$$$

Qual revestimento apresenta o menor custo, além de garantir que cadeiras de rodas passem pela rampa sem risco de escorregamento? 2. Alternativa **c**.

a. Cimento.
b. Mármore.
c. Madeira.
d. Carpete.
e. Lona.

3. (Univag-MT) Em uma transportadora, um caminhão foi carregado, colocando-se uma caixa em sua carroceria. Depois, esse caminhão precisou ser movimentado horizontalmente para frente, a partir do repouso e em linha reta.



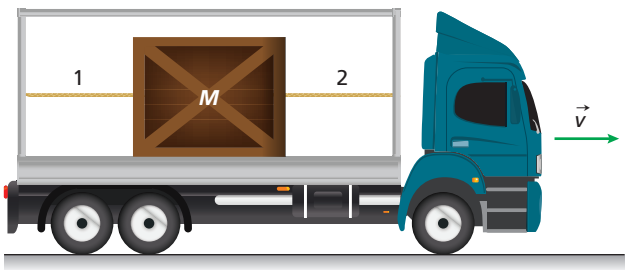
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala.)

Sabendo-se que o coeficiente de atrito estático entre as superfícies da caixa e da carroceria era 0,20 e adotando-se $g = 10\ m/s^2$, a maior aceleração escalar com que esse caminhão poderia ter partido sem que a caixa escorregasse em sua carroceria seria de 3. Alternativa **d**.

a. 0,50 m/s².
b. 1,0 m/s².
c. 1,5 m/s².
d. 2,0 m/s².
e. 2,5 m/s².

4. (Enem) Uma equipe de segurança do transporte de uma empresa avalia o comportamento das tensões que aparecem em duas cordas, 1 e 2, usadas para prender uma carga de massa $M = 200$ kg na carroceria, conforme a ilustração. Quando o caminhão parte do repouso, sua aceleração é constante e igual a 3 m/s² e, quando ele é freado bruscamente, sua frenagem é constante e igual a 5 m/s². Em ambas as situações, a carga encontra-se na iminência de movimento, e o sentido do movimento do caminhão está indicado na figura. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o assoalho da carroceria é igual a 0,2. Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s², as tensões iniciais nas cordas iguais a zero e as duas cordas ideais.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala.)

Nas situações de aceleração e frenagem do caminhão, as tensões nas cordas 1 e 2, em newton, serão 4. Alternativa **a**.

a. aceleração: $T_1 = 0$ e $T_2 = 200$; frenagem: $T_1 = 600$ e $T_2 = 0$.
b. aceleração: $T_1 = 0$ e $T_2 = 200$; frenagem: $T_1 = 1.400$ e $T_2 = 0$.
c. aceleração: $T_1 = 0$ e $T_2 = 600$; frenagem: $T_1 = 600$ e $T_2 = 0$.
d. aceleração: $T_1 = 560$ e $T_2 = 0$; frenagem: $T_1 = 0$ e $T_2 = 960$.
e. aceleração: $T_1 = 640$ e $T_2 = 0$; frenagem: $T_1 = 0$ e $T_2 = 1.040$.

5. Incêndios florestais têm sérios impactos ambientais, prejudicando a flora e a fauna e lançando na atmosfera enormes quantidades de poluentes que, além de dificultarem a visibilidade, colaboram para intensificar o efeito estufa. Por isso, ao menor sinal de fogo, e quando tal procedimento é possível, cogita-se a utilização de helicópteros, que abastecem contêineres com água em mananciais vizinhos ao incêndio e despejam o líquido sobre as chamas.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

5. b. Os helicópteros são cruciais no combate a incêndios florestais, pois permitem uma resposta mais rápida e eficiente em áreas de difícil acesso, como regiões remotas e de mata fechada, onde as operações terrestres são complexas e demoradas. Dessa forma, eles podem alcançar pontos críticos dos incêndios, que seriam inacessíveis por terra, e lançar grande volume de água diretamente sobre as chamas. Além disso, a visão aérea proporcionada pelos helicópteros contribui para a coordenação de ações para potencializar a eficácia das equipes de operações terrestres.

MARIUSLTU/GETTY IMAGES

Helicóptero despejando água sobre as chamas de um incêndio florestal (Noruega, 2019).

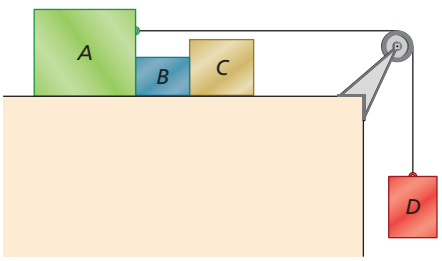
5. a. $T = \frac{M \cdot g}{\cos \theta}$ e $a = g \cdot \operatorname{tg} \theta$

a. Considere que um helicóptero esteja se deslocando horizontalmente para a esquerda em movimento acelerado com aceleração constante de intensidade a. A aeronave transporta um contêiner de massa M cheio de água de modo que, em determinado instante, o cabo em que está conectado esse recipiente forma um ângulo θ com a direção vertical. Sendo g a intensidade da aceleração da gravidade, determine nesse instante, em função de M, g e θ, a intensidade T da força de tração no cabo em que está preso o contêiner, bem como o valor da aceleração a.

b. Sabendo que os incêndios florestais podem se espalhar por grandes extensões de terra, incluindo áreas remotas e de mata fechada, pesquise sobre a importância dos helicópteros no combate a esses incêndios e como eles podem complementar as operações realizadas por terra.

6. No arranjo experimental do esquema seguinte, desprezam-se os atritos e a influência do ar. O fio e a polia são ideais, e adota-se para a intensidade da aceleração da gravidade o valor 10 m/s².

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do arranjo experimental. (Imagem sem escala.)

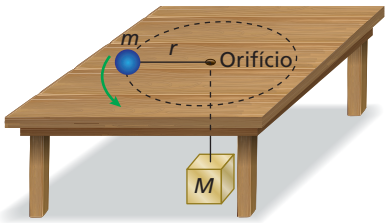
Largando o bloco D, o movimento do sistema inicia-se e, nessas condições, a força de contato trocada entre os blocos B e C tem intensidade 20 N. Sabendo que as massas de A, B e C valem, respectivamente, 6 kg, 1 kg e 5 kg, calcule:

a. a massa de D; 6. a. 8 kg; 6. b. 48 N; 6. c. 24 N

b. a intensidade da força de tração estabelecida no fio;

c. a intensidade da força de contato trocada entre os blocos A e B.

7. Na figura a seguir, uma esfera de massa $m = 2$ kg descreve um movimento circular sobre a mesa plana, lisa e horizontal, sem atrito. A esfera está ligada por um fio ideal a um bloco de massa $M = 10$ kg, que permanece em repouso quando a velocidade da esfera tem intensidade $v = 10$ m/s. Sendo $g = 10$ m/s², calcule o raio da trajetória da esfera, considerando a condição de o bloco permanecer em repouso. 7. $r = 2$ m



Representação esquemática do movimento da esfera sobre a mesa. (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

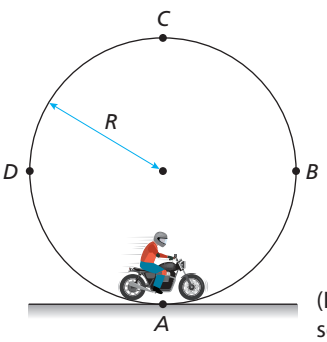
8. (Uece-CE) A máquina de Atwood foi criada em 1784 por George Atwood e consta como dispositivo básico na maioria dos laboratórios de Física do Brasil. Frequentemente utilizada em experimentos para demonstrar princípios básicos da dinâmica, essa máquina utiliza uma polia de massa desprezível sem atrito, um fio inextensível que passa pela polia e possui, em suas extremidades, massas M e m. Em uma situação experimental típica em que a polia esteja fixa ao teto do laboratório e as massas sejam abandonadas sob a influência da gravidade $g = 10$ m s-2, o sistema de massas $M = 5$ kg e $m = 3$ kg adquire uma aceleração de módulo A na direção vertical. Para que o mesmo sistema adquira uma aceleração vertical de mesmo módulo A, mas dirigida no sentido oposto ao obtido anteriormente, é necessário reduzir a massa M em

a. 2,5 kg. **b.** 1,8 kg. **c.** 1,5 kg. **d.** 3,2 kg.

8. Alternativa **d**.

9. (Unicamp-SP) Uma atração muito popular nos circos é o globo da morte, que consiste numa gaiola de forma esférica no interior da qual se movimenta uma pessoa pilotando uma motocicleta. Considere um globo de raio $R = 3{,}6$ m.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



(Imagem sem escala.)

a. Faça um diagrama das forças que atuam sobre a motocicleta nos pontos A, B, C e D indicados na figura, sem incluir as forças de atrito. Para efeitos práticos, considere o conjunto piloto + motocicleta como sendo um ponto material.

b. Qual é a velocidade mínima que a motocicleta deve ter no ponto C para não perder o contato o interior do globo? 9. a. Construção de diagrama de corpo livre.
9. b. 6,0 m/s

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 6

Trabalho e potência

ISMAR INGBER/PULSAR IMAGENS

Bicicletas, patinetes, ônibus e trens elétricos são alguns dos meios de transporte alternativos que contribuem para o desenvolvimento sustentável das cidades (Rio de Janeiro, RJ, 2016).

ODS 11

O setor de transportes é um elemento essencial para o desenvolvimento das grandes cidades. Nesse setor, muitos dos modais utilizados são movidos pela queima de combustíveis fósseis, sendo responsáveis por até 15% da emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Esse é um setor em constante crescimento, desse modo, é indispensável um planejamento consciente aliado ao uso de tecnologias sustentáveis, como o uso de veículos elétricos e movidos a biocombustíveis. Além dos benefícios ambientais, como a redução da emissão de gases de efeito estufa, programas de mobilidade urbana sustentável trazem benefícios sociais importantes para garantir a qualidade de vida da população, facilitando o acesso a todo o espaço urbano e aos serviços, e tornando a locomoção mais segura, com a implantação de infraestrutura que incentiva o uso de meios de transporte alternativos, como as bicicletas, além da mobilidade a pé. No transporte urbano, as forças aplicadas para colocar em movimento ônibus, trens e bicicletas, por exemplo, realizam trabalho mecânico. Quanto mais eficiente um sistema de transporte, menores o trabalho necessário e o consumo de energia, contribuindo para menor impacto ambiental e uma cidade mais sustentável e acessível.

Neste capítulo, vamos estudar os conceitos de trabalho de uma força e potência mecânica.

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras

Trabalho

A ideia de trabalho pode estar relacionada à atividade produtiva ou criativa, remunerada ou não, mas também pode ser associada à ideia de força aplicada sobre um corpo com o objetivo de deslocá-lo.

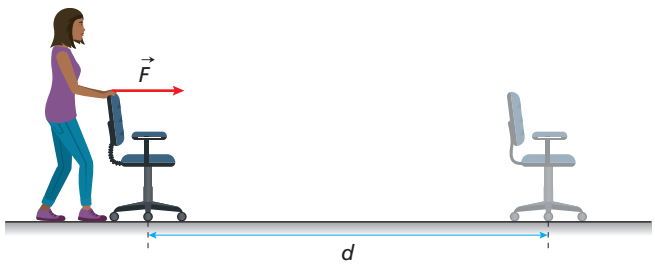
Para realizar tarefas do dia a dia, como mover uma mesa de um lado para o outro da sala, devemos aplicar uma força sobre essa mesa utilizando energia armazenada em nosso corpo. Do mesmo modo, o motor de um carro elétrico precisa aplicar uma força nas rodas do carro para ele se mover; para isso, é utilizada a energia armazenada nas baterias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nesse sentido, definimos a grandeza física denominada **trabalho** (τ) como a quantidade de energia mecânica transformada e/ou transferida durante um movimento. Nos casos em que uma força é aplicada sem que haja deslocamento, não há realização de trabalho, ou seja, não há transferência de energia mecânica, como estudaremos a seguir.

Trabalho realizado por uma força constante

Quando você aplica uma força neste livro e o retira de sua posição inicial ou quando ergue sua mochila do chão para colocá-la nas costas ou, ainda, quando empurra uma cadeira, a força para deslocar o objeto em questão realiza um trabalho τ.



Representação esquemática de uma força $\vec{F}$ aplicada para deslocar uma cadeira de uma distância d.

ERICSON GUILHERME LUCIANO /ARQUIVO DA EDITORA

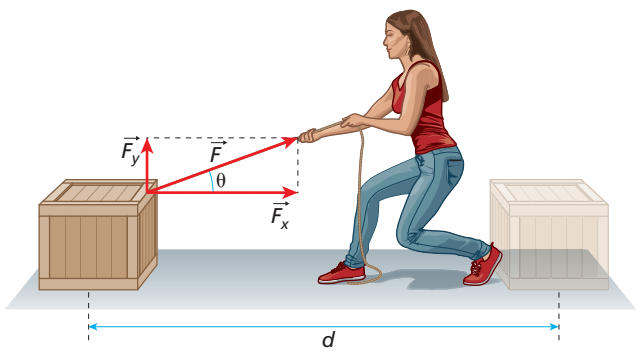
O trabalho realizado por uma força constante que tem a mesma direção e o mesmo sentido do deslocamento é definido da seguinte forma:

$$\tau = F \cdot d$$

Em que τ é uma grandeza escalar que resulta do produto da intensidade da força (F) pelo módulo do deslocamento (d). Note que, se não há deslocamento, não há trabalho.

Se a força não tem a mesma direção do deslocamento, apenas a componente dessa força na direção do deslocamento realiza trabalho. Como a intensidade da componente da força $\vec{F}$ na direção do deslocamento pode ser calculada por $F_x = F \cdot \cos \theta$, o trabalho de uma força constante $\vec{F}$ que forma um ângulo θ em relação à direção do deslocamento vale:

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$$



Representação esquemática de uma força $\vec{F}$ constante aplicada em um ângulo θ em relação à direção do deslocamento.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O trabalho realizado por uma força que tem o mesmo sentido do deslocamento do corpo é positivo e chamado **trabalho motor**. Já o trabalho realizado por uma força que tem sentido oposto ao deslocamento do corpo é negativo e denominado **trabalho resistente**. Note que o trabalho é nulo se a força aplicada for perpendicular à direção de deslocamento, já que $\cos 90^\circ = 0$.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o trabalho é medido em **joule** (**J**). Um joule equivale ao trabalho realizado por uma força de um newton (N) aplicada ao longo de uma distância de um metro (m) na direção e no sentido da força, ou seja:

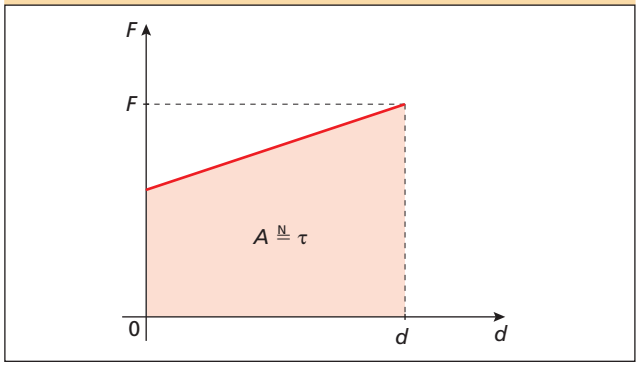
$$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m} = 1\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Gráfico da força por deslocamento

A expressão para o cálculo do trabalho apresentada anteriormente vale para uma força ($\vec{F}$) constante, ou seja, com intensidade (F), direção e sentido constantes.

Nos casos em que a intensidade da força varia, mas ela age na direção do deslocamento, o trabalho pode ser determinado por um gráfico de F em função de d ($F \times d$). A área (A) sob a curva do gráfico é numericamente igual ao trabalho (τ) realizado pela força de intensidade F durante um deslocamento d.

Gráfico de $F \times d$ para uma força variável

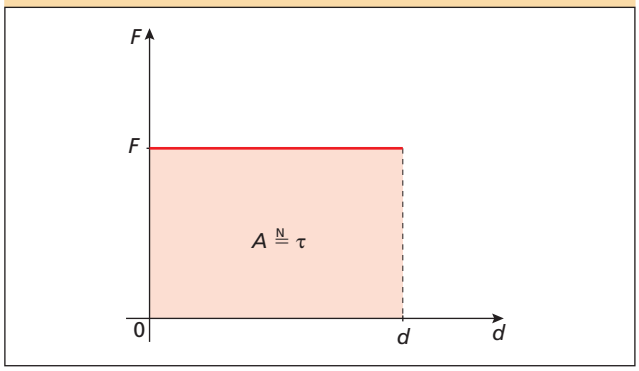


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F \times d$ para uma força variável agindo na mesma direção do deslocamento.

O gráfico de $F \times d$ também pode ser usado para calcular o trabalho realizado por uma força de intensidade F constante.

Gráfico de $F \times d$ para uma força constante



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F \times d$ para uma força constante de intensidade F agindo na mesma direção do deslocamento.

Analisando os gráficos, podemos concluir que a área abaixo da curva é numericamente igual ao trabalho realizado pela força.

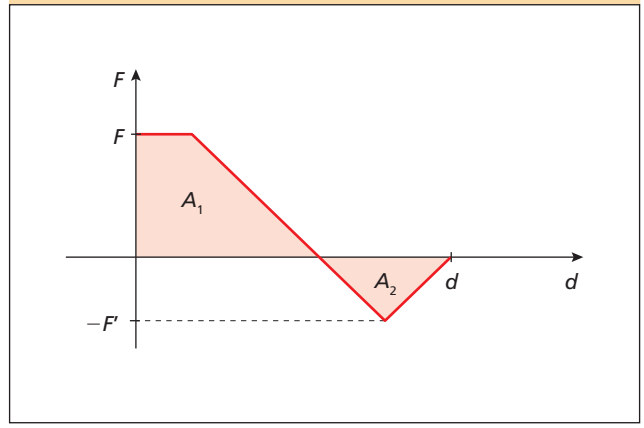
$$A \overset{N}{=} \tau$$

O gráfico a seguir representa uma força de intensidade e sentido variáveis em relação ao deslocamento. Nesse caso, o trabalho correspondente em A_1 tem valor positivo (trabalho motor) e em A_2 tem valor negativo (trabalho resistente). Logo:

$$\tau_{total} \overset{N}{=} A_1 + A_2 \text{ (soma algébrica)}$$

O trabalho total realizado pela força de intensidade variável durante um deslocamento d é numericamente igual à soma algébrica das áreas A_1 e A_2.

Gráfico de $F \times d$ para uma força variável



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

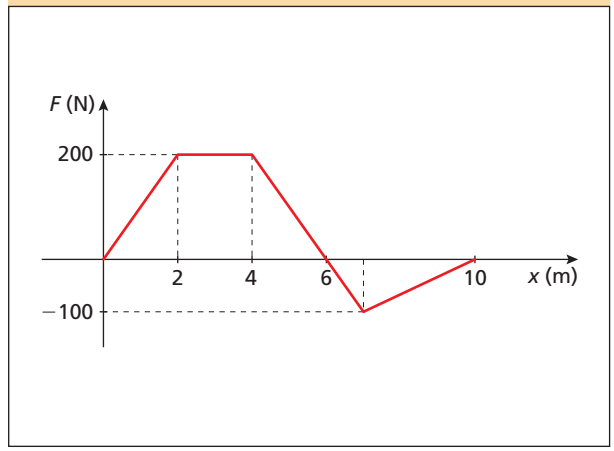
Gráfico de $F \times d$ para uma força agindo na direção do deslocamento, porém de intensidade e sentido variáveis.

Dessa forma, podemos determinar o trabalho realizado por forças variáveis se soubermos como elas se comportam ao longo do processo, ou seja, como a força $\vec{F}$ varia com o deslocamento $\vec{d}$.

Exemplo

Considere que o funcionário de uma fábrica empurra um carrinho de transporte de carga com uma força variável, de acordo com o gráfico a seguir.

Gráfico de $F \times x$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F \times x$ para o movimento do carrinho.

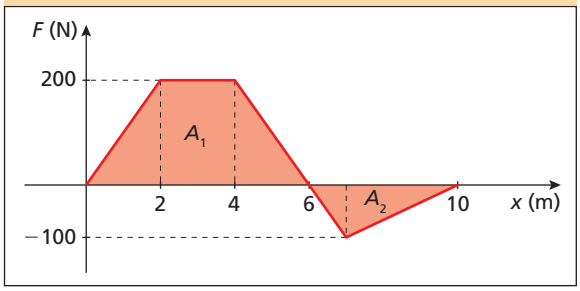
Ao longo de 6 m, o carrinho é empurrado no sentido do deslocamento. Depois, ele é empurrado no sentido oposto – no gráfico, isso é indicado pelos valores negativos de F ao longo do movimento.

Determine o trabalho realizado pela força para mover o carrinho da posição $x = 0$ até $x = 10$ m.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considerando o movimento de $x = 0$ até $x = 10$ m, o trabalho é numericamente igual à área A_1 adicionada algebricamente à área A_2, destacadas no gráfico a seguir.

Gráfico de $F \times x$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F \times x$ para o movimento do carrinho, com as áreas A_1 e A_2 destacadas.

A área A_1 é igual à área de um trapézio, e a área A_2 é igual à área de um triângulo. Logo:

$$A_1 = \frac{(B + b) \cdot h}{2} \text{ e } A_2 = \frac{b \cdot h}{2}$$

Como $A \overset{N}{=} \tau$, temos:

$$A_1 \overset{N}{=} \tau_1 \Rightarrow \tau_1 = \frac{(6 + 2) \cdot 200}{2}$$

$$\therefore \tau_1 = 800 \text{ N} \cdot \text{m ou } \tau_1 = 800 \text{ J}$$

$$A_2 \overset{N}{=} \tau_2 \Rightarrow \tau_2 = \frac{4 \cdot (-100)}{2}$$

$$\therefore \tau_2 = -200 \text{ N} \cdot \text{m ou } \tau_2 = -200 \text{ J}$$

Assim:

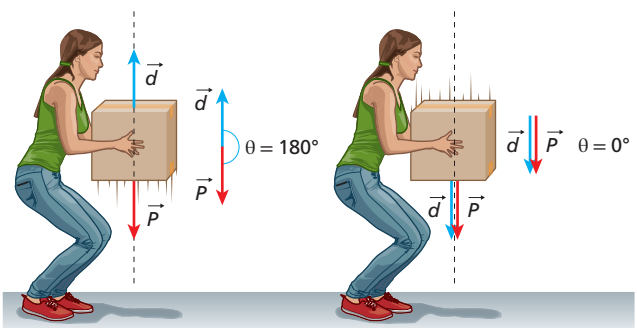
$$\tau_{total} = \tau_1 + \tau_2 \Rightarrow \tau_{total} = 800 \text{ J} + (-200 \text{ J}) \therefore \tau_{total} = 600 \text{ J}$$

Trabalho da força peso

Em um movimento vertical, o **trabalho da força peso** (τ_P) pode ser calculado com base na definição dada anteriormente.

$$\tau_P = P \cdot d \cdot \cos \theta$$

Porém, o deslocamento pode ocorrer em dois sentidos diferentes: no sentido oposto ao da força peso – por exemplo, quando uma pessoa levanta uma caixa a certa altura h – ou no mesmo sentido da força peso – por exemplo, quando a pessoa abaixa a caixa de certa altura h.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

O trabalho do peso da caixa pode ser negativo (quando a pessoa levanta a caixa) ou positivo (quando a pessoa abaixa a caixa).

Se o deslocamento e o peso apresentam sentidos opostos ($\theta = 180°$), temos:

$$\tau_P = P \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_P = m \cdot g \cdot h \cdot \cos 180° \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_P = m \cdot g \cdot h \cdot (-1) \Rightarrow \tau_P = -m \cdot g \cdot h$$

Se o deslocamento e o peso apresentam o mesmo sentido ($\theta = 0°$), temos:

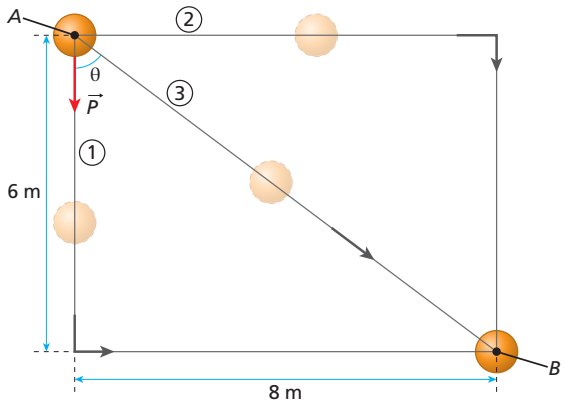
$$\tau_P = P \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_P = m \cdot g \cdot h \cdot \cos 0° \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_P = m \cdot g \cdot h \cdot 1 \Rightarrow \tau_P = m \cdot g \cdot h$$

Note que o trabalho da força peso depende da massa do corpo no qual a força peso age, da intensidade da aceleração da gravidade e da variação de altura.

Exemplo

Vamos considerar que uma esfera com peso de intensidade 10 N é levada de um ponto A até um ponto B por três caminhos diferentes.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma esfera deslocada de um ponto A até um ponto B por três caminhos diferentes.

Qual é o trabalho realizado em cada um dos três caminhos?

No caminho 1, o deslocamento total tem intensidade igual a 6 m na vertical e 8 m na horizontal. Sabendo que o trabalho da força peso é dado por $\tau_P = P \cdot d \cdot \cos \theta$, temos:

$$\tau_P = 10 \text{ N} \cdot 6 \text{ m} \cdot \cos 0° + 10 \text{ N} \cdot 8 \text{ m} \cdot \cos 90° \therefore \tau_P = 60 \text{ J}$$

No caminho 2, o deslocamento total tem intensidade igual a 8 m na horizontal e 6 m na vertical; portanto:

$$\tau_P = 10 \text{ N} \cdot 8 \text{ m} \cdot \cos 90° + 10 \text{ N} \cdot 6 \text{ m} \cdot \cos 0° \therefore \tau_P = 60 \text{ J}$$

No caminho 3, o deslocamento tem intensidade dada pela hipotenusa do triângulo retângulo com catetos iguais a 6 m e 8 m. Então, aplicando o teorema de Pitágoras, para o deslocamento total de módulo d, temos:

$$a^2 + b^2 = d^2 \Rightarrow (6 \text{ m})^2 + (8 \text{ m})^2 = d^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 36 \text{ m}^2 + 64 \text{ m}^2 = d^2 \Rightarrow d^2 = 100 \text{ m}^2 \therefore d = 10 \text{ m}$$

O valor de $\cos \theta$ pode ser obtido pela razão entre o cateto adjacente e a hipotenusa, o que nos dá:

$$\cos \theta = \frac{6}{10} = 0{,}6$$

Assim, o trabalho da força peso no caminho 3 é dado por:

$$\tau_P = 10 \text{ N} \cdot 10 \text{ m} \cdot 0{,}6 \therefore \tau_P = 60 \text{ J}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que o trabalho da força peso não depende da trajetória do corpo. Portanto, a força peso pode ser classificada como **força conservativa**, ou seja, uma força cujo trabalho não depende da trajetória.

Um sistema no qual somente forças conservativas realizam trabalho é chamado de **sistema conservativo**.

Exemplo

Vamos aplicar os conceitos estudados até agora em uma situação na qual uma empilhadeira retira 20 caixas de 2 kg cada de uma prateleira a 2 m de altura. Ao chegar à altura de 1 m, um carregador retira 2 caixas, antes de a empilhadeira depositá-las no chão. Admitamos que durante todo o processo a plataforma da empilhadeira se desloque com velocidade constante.

a) Qual é o gráfico de $F \times d$ desse processo? Considere F a intensidade da força exercida pela empilhadeira e d o módulo do deslocamento da carga.

A intensidade do peso de uma caixa é:

$$P_{caixa} = m \cdot g = 2\ kg \cdot 10\ m/s^2 \therefore P_{caixa} = 20\ N$$

Da altura de 2 m até atingir 1 m, temos um movimento uniforme; portanto, a intensidade da força vertical que a empilhadeira faz tem o mesmo valor do peso de 20 caixas.

$$F_1 = 20 \cdot P_{caixa} \Rightarrow F_1 = 20 \cdot 20\ N \therefore F_1 = 400\ N$$

Da mesma forma, da altura de 1 m até atingir o chão, a intensidade da força que a empilhadeira faz tem o mesmo valor do peso de 18 caixas; assim:

$$F_2 = 18 \cdot P_{caixa} \Rightarrow F_2 = 18 \cdot 20\ N$$
$$\therefore F_2 = 360\ N$$

Com esses dados, podemos construir o gráfico.

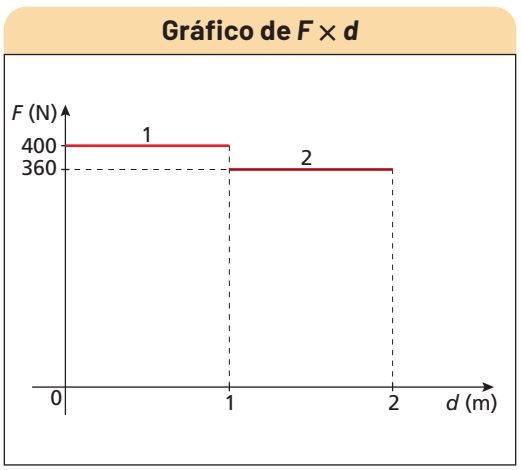


Gráfico $F \times d$ da intensidade da força exercida pela empilhadeira sobre as caixas ao longo do movimento.

b) Qual é o módulo do trabalho total realizado pelas forças exercidas pela empilhadeira nessa tarefa?

Para calcular o módulo do trabalho realizado pelas forças da empilhadeira, basta calcularmos a área abaixo da curva do gráfico (pois, $A \overset{N}{=} \tau$), considerando as áreas retangulares A_1 e A_2 a seguir.

Sendo a área do retângulo dada por $A = b \cdot h$, temos:

$$\tau_1 \overset{N}{=} A_1 = 1 \cdot 400 \therefore \tau_1 = 400\ J$$
$$\tau_2 \overset{N}{=} A_2 = 1 \cdot 360 \therefore \tau_2 = 360\ J$$

Assim, o módulo do trabalho total realizado pelas forças exercidas pela empilhadeira é:

$$\tau_{total} = \tau_1 + \tau_2 \Rightarrow \tau_{total} = 400\ J + 360\ J$$
$$\therefore \tau_{total} = 760\ J$$

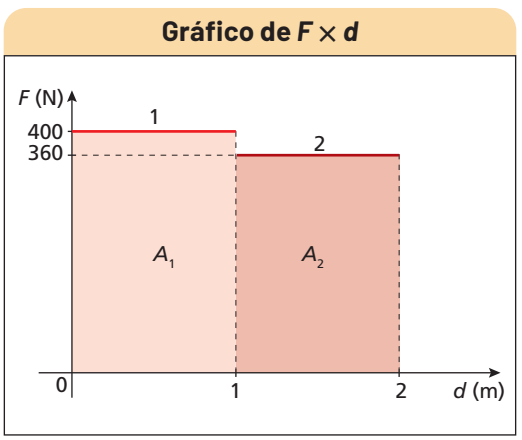


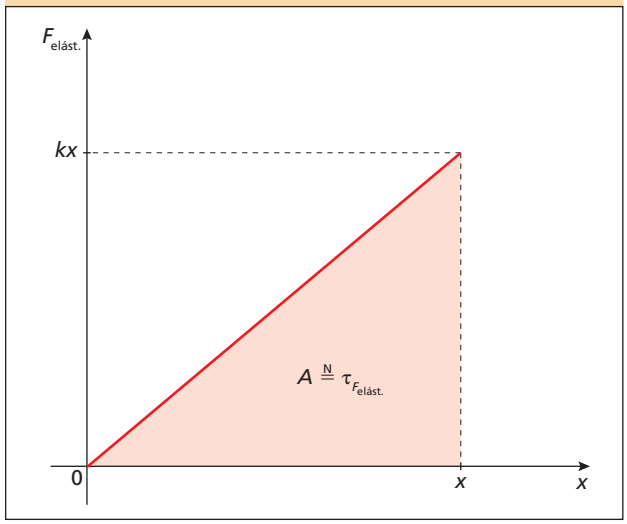
Gráfico $F \times d$ da intensidade da força exercida pela empilhadeira sobre as caixas ao longo do movimento, com as áreas A_1 e A_2 destacadas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Trabalho da força elástica

O **trabalho da força elástica** ($\tau_{F_{elást.}}$) pode ser calculado com base em um gráfico $F_{elást.} \times d$. Pela lei de Hooke, $F_{elást.} = k \cdot x$, sabemos que a intensidade da força elástica varia linearmente com a deformação x sofrida pela mola.

Gráfico de $F_{elást.} \times d$ para uma força elástica variável



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F_{elást.} \times d$ para uma força elástica variável na mesma direção da deformação da mola.

O módulo do trabalho da força elástica é numericamente igual à área do triângulo no gráfico. Assim, calculando a área, obtemos:

$$|\tau_{F_{elást.}}| = \frac{k \cdot x \cdot x}{2} \Rightarrow |\tau_{F_{elást.}}| = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Depois de determinar o módulo do trabalho, vamos avaliar se o trabalho é motor ou resistente.

Nos casos em que a mola é alongada, isto é, quando a força elástica se opõe à deformação, temos:

$$\tau_{F_{elást.}} = -\frac{k \cdot x^2}{2}$$

Nesse caso, o trabalho é resistente.

Quando a mola é comprimida ou quando retorna à sua posição de equilíbrio, isto é, quando a força elástica e o deslocamento têm o mesmo sentido, temos:

$$\tau_{F_{elást.}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Nessa situação, o trabalho é motor.

Exemplo

Uma mola com constante elástica $k = 1.000$ N/m e tamanho natural de 10 cm em repouso é esticada até atingir 14 cm. Qual é o trabalho realizado pela força elástica?

A mola é esticada em 0,04 m e uma força se opõe a essa deformação; então:

$$\tau_{F_{elást.}} = -\frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow \tau_{F_{elást.}} = -\frac{1.000 \text{ N/m} \cdot (0{,}04 \text{ m})^2}{2} \therefore \tau_{F_{elást.}} = -0{,}8 \text{ J}$$

Trabalho da força de atrito

Em situações reais, atuam **forças dissipativas**, como a força de atrito e a força de resistência do ar, além das forças conservativas. Essas forças, como o nome indica, dissipam energia, transformando energia mecânica em outras formas de energia, como energia térmica e/ou energia sonora.

Um sistema no qual forças dissipativas realizam trabalho é chamado **sistema não conservativo**. Em sistemas não conservativos, não há conservação da energia mecânica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em um movimento, o **trabalho da força de atrito** $(\tau_{F_{at.}})$, admitida constante, pode ser calculado com base na definição de trabalho dada anteriormente.

$$\tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot \cos\theta$$

Lembrando que a intensidade da força de atrito dinâmico ($F_{at.}$) pode ser calculada por:

$$F_{at.} = \mu_d \cdot F_N$$

Em que μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico e F_N é a intensidade da força normal trocada pelas superfícies em contato.

Note que a força de atrito dinâmico tem sempre o sentido oposto ao do deslocamento ($\theta = 180°$); portanto, a força de atrito dinâmico realiza trabalho negativo (resistente).

$$\tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot \cos 180° \Rightarrow \tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot (-1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_{F_{at.}} = -F_{at.} \cdot d = -\mu_d \cdot F_N \cdot d$$

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. (UEPG-PR) A máquina a vapor de James Watt substituiu a força humana, do vento e da água, e as fábricas passaram a ser projetadas para a produção em massa de produtos manufaturados – época conhecida como Revolução Industrial. Tal invenção de Watt estimulou o desenvolvimento de várias outras máquinas que realizavam o trabalho de maneira mais eficiente. Sobre o conceito físico de trabalho de uma força, indique o que for correto.

01. O trabalho é uma medida da quantidade de energia que uma força transfere a um determinado sistema.

02. O trabalho realizado por uma força constante aplicada a um corpo é uma grandeza vetorial.

04. No Sistema Internacional, o trabalho é medido em joule (J).

08. Toda força, não nula, que age sobre um corpo durante um deslocamento, realiza trabalho, desde que ela não seja perpendicular ao deslocamento.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas. 1. 01 + 04 + 08 = 13

2. Ao fazer uma curva, um carro necessita de uma força perpendicular à trajetória em cada instante e dirigida para o centro da curva, sem a qual esse carro escapa pela tangente, de acordo com o princípio da inércia. Essa força, denominada força centrípeta, realiza trabalho?

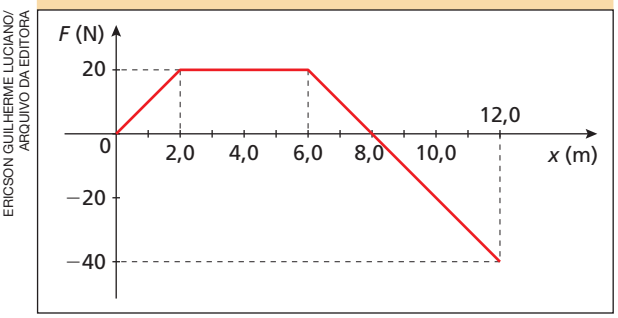
2. Não, pois é perpendicular à trajetória.

3. Como podemos saber se o trabalho realizado por uma força é positivo ou negativo?

3. Considerando a direção da força em relação ao deslocamento.

4. A intensidade da resultante das forças que agem em uma partícula varia em função de sua posição sobre o eixo *x*, conforme o gráfico a seguir.

Gráfico de $F \times x$ para uma força resultante variável



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F \times x$ para o movimento de uma partícula sob a ação de uma força resultante na direção do eixo *x*, mas de intensidade variável.

Calcule o trabalho da força para os deslocamentos:

a. de $x_1 = 0$ a $x_2 = 8{,}0$ m; 4. a. 120 J

b. de $x_2 = 8{,}0$ m a $x_3 = 12{,}0$ m; 4. b. –80 J

c. de $x_1 = 0$ a $x_3 = 12{,}0$ m. 4. c. 40 J

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Potência

Geralmente, associamos o significado de potência a alguma força, por exemplo, a potência muscular de cavalos de corrida ou a potência do motor de um veículo, seja uma motocicleta, seja um automóvel, seja um caminhão. No entanto, **potência** é definida como uma grandeza escalar que mede a rapidez com que um trabalho é realizado.

Para relacionar o trabalho realizado com o intervalo de tempo gasto, utilizamos a **potência média** (***Pot*$_m$**), definida como:

$$Pot_m = \frac{\tau}{\Delta t}$$

No SI, a potência é medida em **watt** (**W**). Um watt equivale a um joule por segundo (J/s). Essa unidade de medida é uma homenagem ao engenheiro e inventor escocês James Watt (1736-1819), que aperfeiçoou a máquina a vapor, contribuindo para o desenvolvimento das indústrias a partir do século XVIII, na Inglaterra.

Existem outras unidades de medida de potência que não fazem parte do SI, mas ainda são utilizadas em alguns países, por motivos históricos, como o cavalo-vapor (cv) e o *horsepower* (hp), que obedecem às relações: 1 cv $\simeq$ 736 W e 1 hp $\simeq$ 746 W. Essas unidades de medida ainda são aplicadas para expressar as medidas de potência de motores de automóveis, por exemplo.

Exemplo

Considere um elevador de massa igual a 500 kg e que deve suportar, no máximo, o peso de 14 pessoas com massa de até 70 kg cada uma mais o próprio peso do equipamento para que funcione com segurança. Além disso, o elevador deve ser capaz de subir uma altura de 30 m em 10 s, com velocidade constante, estando sem carga ou com a carga máxima. Quais são as potências mínima e máxima que o motor do elevador deve desenvolver?

Como o trabalho realizado pela força aplicada pelo motor é de mesmo módulo que o da força peso, a potência pode ser calculada como:

$$Pot_m = \frac{\tau}{\Delta t} \Rightarrow Pot_m = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t}$$

Considerando que a potência mínima corresponde ao elevador subindo vazio, temos:

$$Pot_{mín.} = \frac{m_{elevador} \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow Pot_{mín.} = \frac{500\ kg \cdot 10\ m/s^2 \cdot 30\ m}{10\ s} \therefore Pot_{mín.} = 15.000\ W$$

Considerando que a potência máxima corresponde à subida do elevador com lotação máxima, temos:

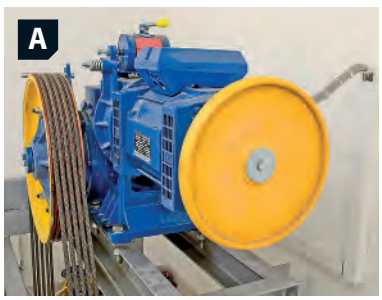
$$Pot_{máx.} = \frac{(14 \cdot m_{pessoa} + m_{elevador}) \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pot_{máx.} = \frac{(14 \cdot 70\ kg + 500\ kg) \cdot 10\ m/s^2 \cdot 30\ m}{10\ s} \therefore Pot_{máx.} = 44.400\ W$$

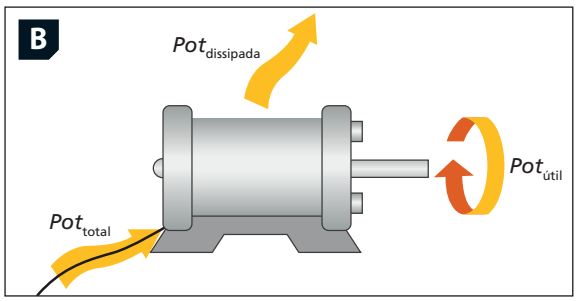
Rendimento

Considere um elevador equipado com um motor como o da figura a seguir, com potência total de 5.000 W, mas que, para realizar trabalho, aproveite apenas 4.000 W. Isso se deve a diversos fatores, como atrito e dissipação de calor na fiação. Nesse sistema, considera-se que o rendimento seja de $\frac{4.000}{5.000}$, ou seja, 80%.

CSABA DELI/SHUTTERSTOCK



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



(A) Motor de elevador. **(B)** A potência útil ($Pot_{útil}$) desenvolvida pelo motor é obtida pela diferença entre a potência total (Pot_{total}) e a potência dissipada ($Pot_{dissipada}$). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De forma geral, a potência total (Pot_{total}) é dada por:

$$Pot_{total} = Pot_{útil} + Pot_{dissipada}$$

O **rendimento (η)** é definido pela razão entre a potência útil ($Pot_{útil}$) e a potência total; assim:

$$\eta = \frac{Pot_{útil}}{Pot_{total}}$$

O rendimento é geralmente expresso em porcentagem, bastando para isso multiplicar o resultado do cálculo por 100%.

O rendimento da usina seria menor. Isso indicaria que grande parte da energia fornecida ao sistema é dissipada e não é convertida de forma eficiente em trabalho; portanto, nesse caso, seria necessário tomar medidas para minimizar as perdas e reduzir a potência dissipada.

ATIVIDADE COMENTADA

Para exercitar o pilar "algoritmo" do pensamento computacional, peça aos estudantes que, em grupos, escrevam um algoritmo representado por um fluxograma para a resolução desse problema. Comente com eles que o algoritmo escrito também pode ser aplicado para resolver outros problemas semelhantes que envolvam situações análogas.

(Enem) A usina de Itaipu é uma das maiores hidrelétricas do mundo em geração de energia. Com 20 unidades geradoras e 14.000 MW de potência total instalada, apresenta uma queda de 118,4 m e vazão nominal de 690 m³/s por unidade geradora. O cálculo da potência teórica leva em conta a altura da massa de água represada pela barragem, a gravidade local (10 m/s²) e a densidade da água (1.000 kg/m³). A diferença entre a potência teórica e a instalada é a potência não aproveitada.

Fonte: elaborado com base em ITAIPU Binacional. **Unidades geradoras**. Foz do Iguaçu: ITAIPU, 2010. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/energia/unidades-geradoras. Acesso em: 16 out. 2024.

Qual é a potência, em MW, não aproveitada em cada unidade geradora de Itaipu?

a. 0 **b.** 1,18 **c.** 116,96 **d.** 816,96 **e.** 13.183,04

Destaque para os estudantes, ao realizar essa etapa da resolução da atividade, como é aplicado o pilar "decomposição" do pensamento computacional.

Analisar o enunciado

Para facilitar a resolução do problema, vamos fazer sua decomposição, ou seja, analisar o problema como um todo e dividi-lo em partes menores. Sabendo que a potência não aproveitada (ou potência dissipada) é dada pela diferença entre a potência teórica (ou potência total recebida) e a potência instalada (ou potência útil), primeiro podemos determinar as potências útil e total individualmente para depois calcular a potência dissipada.

Selecionar as informações relevantes

Potência total instalada: 14.000 MW

Altura de queda: $h = 118{,}4$ m

Vazão em cada unidade geradora: $Z = 690$ m³/s

Densidade da água: $\rho = 1.000$ kg/m³

Intensidade da aceleração da gravidade: $g = 10$ m/s²

Mostre aos estudantes como o pilar "reconhecimento de padrões" do pensamento computacional é aplicado nessa etapa da resolução da atividade, identificando os conceitos aplicados e as fórmulas e as equações que os representam.

Aplicar o conceito estudado

A potência instalada em cada unidade geradora, ou potência útil ($Pot_{útil}$), é dada pela relação entre a potência total instalada (14.000 MW) e o número de unidades geradoras da usina (20).

$$Pot_{útil} = \frac{14.000 \text{ MW}}{20} \therefore Pot_{útil} = 700 \text{ MW}$$

A potência teórica, ou potência total recebida por cada unidade geradora (Pot_{total}), depende da altura h da massa de água represada pela barragem, ou seja, a queda de 118,4 m; da vazão nominal $Z = \frac{V}{\Delta t}$ por unidade geradora (690 m³/s), ou seja, da quantidade de água que atravessa a secção transversal do duto de uma unidade geradora por unidade de tempo; da intensidade da aceleração da gravidade local g (10 m/s²) e da densidade $\rho = \frac{m}{V}$ da água (1.000 kg/m³).

$$Pot_{total} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow Pot_{total} = \frac{\rho \cdot V \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pot_{total} = \rho \cdot Z \cdot g \cdot h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pot_{total} = 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 690 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 118{,}4 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pot_{total} = 816.960.000 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

$$\therefore Pot_{total} = 816.960.000 \text{ W} = 816{,}96 \text{ MW}$$

Lembrando que: $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$

Para determinar a potência não aproveitada em cada unidade geradora de Itaipu ($Pot_{dissipada}$), vamos calcular $Pot_{total} - Pot_{útil}$.

$$Pot_{dissipada} = Pot_{total} - Pot_{útil} \Rightarrow Pot_{dissipada} = 816{,}96 \text{ MW} - 700 \text{ MW}$$

$$\therefore Pot_{dissipada} = 116{,}96 \text{ MW}$$

Essa potência é dissipada principalmente devido ao atrito entre as partes do sistema, na forma de calor. Note que a dissipação de potência por razões diversas é inerente a qualquer equipamento real.

Verificar a solução

A potência dissipada deve ser menor que a potência teórica da unidade geradora, como mostram os cálculos.

$$Pot_{dissipada} < Pot_{total} \Rightarrow 116{,}96 \text{ MW} < 816{,}96 \text{ MW}$$

Alternativa **c**.

E se a potência dissipada fosse maior que a potência útil da unidade geradora, considerando a mesma potência total, como isso afetaria o rendimento da usina?

Comente com os estudantes como o pilar "abstração" do pensamento computacional é aplicado nessa etapa da resolução da atividade, destacando a importância da análise dos dados a fim de que sejam identificadas as informações essenciais para a resolução do problema e descartadas as informações desnecessárias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. a. Espera-se que os estudantes verifiquem como a potência se relaciona com o funcionamento de diferentes dispositivos, máquinas e motores. Carros populares são projetados para serem mais econômicos e eficientes e consumir menos combustível que carros esportivos. A potência mais alta dos carros esportivos possibilita que eles alcancem velocidades mais altas que as alcançadas por carros populares.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. De acordo com o conceito de potência média, se uma força $\vec{F}_1$ realiza o mesmo trabalho que outra força $\vec{F}_2$ em um tempo menor, a potência associada ao trabalho da força $\vec{F}_1$ pode ser considerada menor ou maior que a associada ao trabalho de $\vec{F}_2$? Explique.

5. Maior, pois a potência é inversamente proporcional ao tempo.

6. (Unesp-SP) Um motor recebe durante 1 minuto a potência de 200 W, realizando um trabalho de 8.640 J. Calcule o rendimento do motor. 6. 72%

7. Se você erguer certo corpo a determinada altura cada vez mais rápido, despenderá potência cada vez maior. O conceito de potência traduz a rapidez da troca de energia entre dois sistemas.

a. Pesquise as potências de um carro popular e de um carro esportivo e compare os dois valores, expressos nas mesmas unidades de medida. O que esses valores indicam a respeito das características desses dois carros?

b. Os motores a combustão, ainda usados na maioria dos veículos automotores, caracterizam-se por apresentar baixo rendimento, o que tem levado a indústria automobilística a pesquisar novas fontes de energia para a propulsão, com maior eficiência. Considerando-se um carro popular que ofereça uma potência útil de 70 cv mediante o recebimento de uma potência total de 210 cv proveniente da queima do combustível, qual é o rendimento desse carro?

7. b. ≃ 33,3%

OBJETO DIGITAL Mapa clicável: O caminho dos rios voadores

Registre em seu caderno

EM FOCO Rios voadores da Amazônia

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Quem disse que só existem rios líquidos escoando ao longo de calhas bem definidas, esculpidas pela água durante anos a fio, e que esses rios serpenteiam rumo a rios maiores ou mesmo em direção ao mar?

Pois bem, a floresta Amazônica despeja na atmosfera, por meio de suas muitas árvores – estimadas em cerca de 400 bilhões de unidades; sabidamente, um verdadeiro manto verde equatorial –, uma quantidade enorme de vapor-d'água que supera em massa o que o rio Amazonas verte em sua foz no oceano Atlântico, algo próximo de 300 milhões de litros por segundo. Calcula-se que cada árvore de grande porte transfira sozinha, do subsolo para o ar, aproximadamente 1.000 L de água a cada 24 h. Existe sobre nós, portanto, um imenso rio voador.

ERICATARINA/ISTOCK/GETTY IMAGES

As árvores puxam água existente no subsolo, que depois evapora através de suas folhas. Trata-se de um incrível mecanismo da biosfera que transfere umidade para a atmosfera terrestre (Manaus, AM, 2020).

Essa enorme massa de água viaja pelo céu do Brasil, do Noroeste ao Sudeste, irrigando o solo e possibilitando condições favoráveis e controladas de vida.

A floresta lança sobre o quadrilátero que vai de Cuiabá a Buenos Aires e de São Paulo aos Andes um grande rio aéreo, que faz chover regularmente em toda essa região. É importante notar que esse quadrilátero se situa na latitude 30° sul, na qual ocorrem desertos em outras partes do mundo, como o Atacama (Chile), o Kalahari (Botsuana, Namíbia e África do Sul) e o Outback (Austrália). Sendo irrigada pelas chuvas amazônicas, essa área da América do Sul escapa da estatística dos desertos e é, atualmente, a responsável por grande parte do produto interno bruto (PIB) do continente.

Essa usina ambiental, equivalente a 50 mil usinas de Itaipu, depende, porém, de diversos fatores para continuar funcionando. O principal deles é a preservação da floresta. Agressões como queimadas e desmatamentos irregulares podem ser fatais, conduzindo diversas regiões do Brasil a situações de escassez de chuvas, ou seja, secas, e desabastecimento de água. O desmatamento afeta o processo de regulação climática, provocando mudanças no padrão de chuvas nas diferentes regiões; pode levar à escassez de chuvas na região Sudeste, por exemplo, e ao excesso de chuvas na região Sul.

RICARDO OLIVEIRA/AFP/GETTY IMAGES

Toras de madeira cortadas ilegalmente e confiscadas pela Polícia Militar no Rio Manacapuru (Manacapuru, AM, 2020).

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Os estudantes podem utilizar *smartphones* para a gravação dos *podcasts*. Caso não seja possível a gravação dos *podcasts* em meio digital, a atividade pode ser realizada em sala de aula, de forma desplugada. Os estudantes, em grupos, podem preparar apresentações orais no formato de *podcast*.

Continuação

OBJETO DIGITAL
Vídeo: Leis Ambientais

Com um olhar para os impactos causados pela abertura indiscriminada de áreas agrícolas na Amazônia, cabe, portanto, uma reflexão da sociedade no que se refere a legislações ambientais, especialmente em pontos que deliberam sobre queimadas e desmatamentos.

Sem as florestas, o ambiente caminhará para um colapso e o ser humano, cujo conforto e estabilidade dependem da harmonia e sustentabilidade ambientais, sofrerá com severas crises de oferta de insumos básicos, a começar por falta de água.

Imagens como a da fotografia a seguir têm permeado os noticiários brasileiros nos últimos tempos. A natureza sofre com as consequências e a contrapartida exigida para uma possível reversão desse cenário é reflorestar, ou seja, restaurar as florestas.

RICARDO TELES/PULSAR IMAGENS

Períodos de seca intensa têm sido cada vez mais frequentes em diversas regiões do Brasil (Várzea do Rio Pindaré, Igarapé do Meio, MA, 2023). 1. Estão relacionadas pelo processo de regulação climática.

Se achar conveniente, após a revisão do material, organize com os estudantes a publicação dos *podcasts* nas redes sociais e no *site* da escola, se houver, para que sejam compartilhados com os colegas, familiares e outros membros da comunidade.

1. Que relação tem a regularidade das chuvas no Sudeste e no Sul brasileiro com a floresta Amazônica?
2. Em grupo com dois colegas, façam o que se pede.
   a. Pesquisem as estratégias adotadas pelos governos e pela sociedade civil para a preservação da Amazônia brasileira. Os seguintes questionamentos podem ser úteis para orientar sua pesquisa. Quais as maneiras mais sustentáveis de fazê-lo? Quais são as normas e as leis que se referem à exploração sustentável da floresta? Existem políticas para garantir a segurança e os direitos das populações indígenas e tradicionais que habitam a Amazônia brasileira? Lembrem-se de sempre buscar fontes confiáveis para a pesquisa.
   b. Organizem e apresentem as informações coletadas e as sugestões de como a comunidade pode contribuir para a preservação da Amazônia aos outros grupos e colegas de turma em forma de *podcast*. Para isso, elaborem primeiro um roteiro contendo as informações essenciais que querem transmitir e, em seguida, gravem o *podcast*. Ele deve ter duração máxima de cinco minutos. Combinem a forma de divulgação do *podcast* com os colegas de turma e o professor.
3. Considere uma árvore amazônica cuja copa está a uma altura de aproximadamente 20 m. Qual é a potência média associada às forças internas exercidas pela árvore para elevar um volume de 1.000 L de água do solo até sua copa, verticalmente e sem variação de velocidade, em 24 h? Considere a intensidade da aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e a densidade da água igual a 1 kg/L. 3. $\simeq 2$

Fique por dentro

Amazônia: Floresta D'Água

Amazônia Floresta D`Água | Série de Reportagens. Brasília: UnB, 2024. 5 áudios. Disponível em: https://www.unbcast.com/post/amaz%C3%B4nia-floresta-d-%C3%A1gua. Acesso em: 11 ago. 2024.

O *podcast* conta com seis episódios que introduzem as mudanças climáticas, falam sobre o conceito de Rios Voadores, a estocagem de gases de efeito estufa, as consequências do desmatamento da Amazônia e a importância dos povos indígenas na constituição e proteção da floresta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

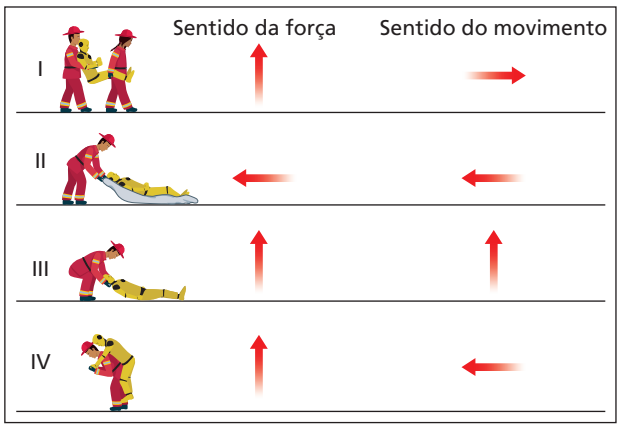
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Desloca-se um objeto sobre um plano horizontal com a aplicação de uma força horizontal constante de intensidade 100 N na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento. Se o trabalho realizado por essa força for de 2.500 J, qual será o módulo do deslocamento? 1. 25 m

2. Um garoto ergue um bloco de 1 kg verticalmente, com velocidade constante, a uma altura de 1 m. Calcule o trabalho realizado pela força aplicada ao bloco pelo garoto. Adote $g = 10\ m/s^2$. 2. 10 J

3. Uma caixa com 160 N de peso desce, com velocidade constante, uma rampa com comprimento de 10 m. Essa rampa é inclinada de um ângulo de 30° com a horizontal. Calcule o trabalho realizado pela força peso para que a caixa desça toda a rampa. Dados: sen 30° = 0,5; cos 30° = 0,87; sen 60° = 0,87; cos 60° = 0,5 3. 800 J

4. (Cespe/UnB-DF)

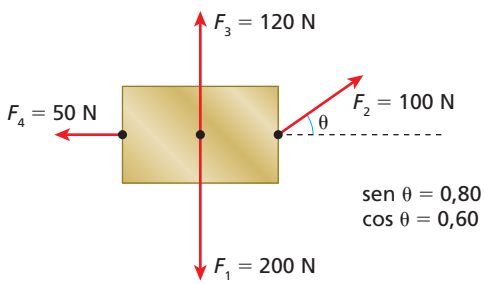


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Entre as situações ilustradas na figura precedente, aquelas cujo trabalho é nulo são 4. Alternativa **c**.

a. I e II.
b. II e III.
c. I e IV.
d. III e IV.

5. O bloco da figura a seguir está inicialmente em repouso, livre da ação de forças externas. Em dado instante, aplica-se sobre ele o sistema de forças indicado, constituído por $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$, de modo que $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_3$ sejam perpendiculares a $\vec{F}_4$. 5. $\tau_1 = \tau_3 = 0$; $\tau_2 = 300$ J; $\tau_4 = -250$ J

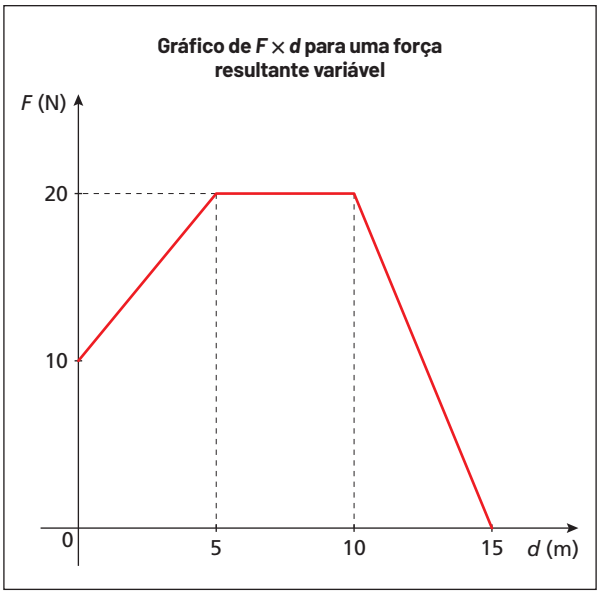


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das forças que atuam sobre o bloco em determinado instante *t*. (Imagem sem escala.)

Sendo τ_1, τ_2, τ_3 e τ_4, respectivamente, os trabalhos de $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$ para um deslocamento de módulo igual a 5,0 m, calcule τ_1, τ_2, τ_3 e τ_4.

6. Com base no gráfico a seguir, calcule o trabalho realizado pela força durante todo o trajeto de 15 m. 6. 225 J



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico de $F \times d$ para o movimento de um corpo sob a ação de uma força resultante variável na mesma direção do deslocamento, mas de intensidade variável.

7. Com o uso de uma corrente, um trator arrasta uma tora de madeira sobre o solo plano e horizontal em movimento retilíneo e uniforme. A corrente, de massa desprezível, exerce sobre a tora uma força horizontal de intensidade igual a 10 kN, na direção do deslocamento. Nessas condições, calcule o que se pede.

a. O trabalho realizado pela força exercida pela corrente sobre a tora em um deslocamento de intensidade igual a 30 m. 7. a. 300 kJ

b. A potência útil despendida pelo trator durante 1 min. 7. b. 5 kW

8. (Unifai-SP) Em uma garagem será instalado um portão automático de 200 kg que abre na direção vertical. Da posição em que está fechado até a posição que está totalmente aberto, o centro de massa desse portão desloca-se 1,5 m na vertical. Sabendo-se que $g = 10\ m/s^2$ e desconsiderando os atritos entre as partes móveis, para que esse portão possa ser aberto em um tempo de 5,0 s, com velocidade constante, a potência útil do motor elétrico que movimenta o portão deve ser de 8. Alternativa **a**.

a. 600 W.
b. 1.000 W.
c. 1.400 W.
d. 1.800 W.
e. 2.200 W.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 7

Energia e sua conservação

ZE MARTINUSSO/GETTY IMAGES

A pesca artesanal é uma atividade fundamental para o desenvolvimento das pequenas comunidades de pescadores em diferentes regiões do Brasil e do mundo, gerando menos resíduos e minimizando o consumo de energia elétrica (Praia da Armação, Búzios, RJ, 2018).

Quanto mais intensas forem as atividades necessárias à sobrevivência, maior será a necessidade energética, seja para uma planta, seja para os animais, seja para os seres humanos. As plantas obtêm energia por meio da luz solar; já os animais, incluindo os seres humanos, a obtêm dos alimentos que consomem. O Sol é a principal fonte de energia primária que abastece a Terra, mas será que toda a energia proveniente do Sol e dos alimentos é aproveitada? O que acontece com a energia não aproveitada?

Neste capítulo, vamos estudar os tipos de energia mecânica e as aplicações do princípio da conservação da energia a sistemas mecânicos conservativos.

Princípio da conservação da energia

O conceito de energia é bastante amplo e abstrato e impacta nossa maneira de interagir com o mundo. Para entender esse conceito, é importante compreender que energia é uma grandeza física que não pode ser criada nem destruída, mas, sim, transformada de uma forma em outras. Assim, apesar de se apresentar sob diversas formas, a **energia** é conservada. Isso significa que, embora ela possa ser transformada de uma forma em outras, na sua totalidade é mantida. O conceito físico de energia pode ser relacionado ao conceito de trabalho.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Transformações de energia são essenciais para a manutenção da vida e dos ecossistemas. No processo de respiração celular, por exemplo, um organismo obtém, por meio de transformações bioquímicas, energia para realizar as mais diversas funções. Eventos cíclicos da natureza, relacionados ao clima, por exemplo, também estão intrinsecamente atrelados a transformações de energia.

Em um **sistema isolado**, isto é, que não interage com outros sistemas, não há trocas de energia com o exterior; todas as formas de energia intrínsecas a esse sistema podem ser transformadas em outras, mas a energia total ali existente permanece sempre a mesma.

Para fazer uma vitamina de frutas ou um molho com vegetais, por exemplo, geralmente utilizamos um liquidificador ou um *mixer*. Ao ligar o aparelho, parte da energia elétrica é dissipada em forma de ruído e calor, que aquece o corpo do eletrodoméstico e o ar, transformando-se em energia sonora e energia térmica, e parte da energia elétrica é utilizada para fazer o motor funcionar, movimentando as lâminas.

Sabendo que a energia se transforma, podemos enunciar o **princípio geral da conservação da energia**:

A energia não pode ser criada nem destruída, ela apenas se transforma de uma modalidade em outros tipos de energia.

Quando a energia está associada ao movimento, ela é denominada **energia mecânica**. Por exemplo, uma criança no alto de um escorregador armazena um tipo de energia mecânica chamada de energia potencial gravitacional; quando a criança escorrega, essa energia é transformada em outro tipo de energia mecânica, chamada energia cinética, além de energia térmica, dissipada em forma de calor.

OBJETO DIGITAL
Mapa clicável: Usinas elétricas no Brasil

A energia é uma grandeza física muito importante, constituindo-se também em insumo indispensável aos padrões de consumo modernos e à própria vida.

O Brasil tem se destacado em todo o mundo por seus parques de energia eólica, proveniente dos ventos. Essa é uma forma de geração de energia elétrica que pode causar menos impactos ambientais, pois parte de uma fonte de energia renovável. Nesse caso, grande parte da energia mecânica das correntes de ar é transformada em energia elétrica.

GERSON GERLOFF/PULSAR IMAGENS

O parque eólico de Osório, no Rio Grande do Sul, é um dos maiores em operação no país (2023).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

As leis da conservação

As leis da conservação. **Plataforma Anísio Teixeira**, Secretaria de Educação do Estado da Bahia, Salvador (BA), 20 jun. 2011. 1 vídeo (6 min 49 s). Disponível em: http://pat.educacao.ba.gov.br/conteudos-digitais/conteudo/exibir/id/554. Acesso em: 11 jun. 2024.

Esse vídeo, produzido pela Plataforma Anísio Teixeira, da Secretaria da Educação do Estado da Bahia, explica as leis da conservação da massa e da energia, relacionando-as com o cotidiano.

Energia cinética e o teorema trabalho-energia cinética

Corpos em movimento têm energia de movimento associada, chamada de **energia cinética** (E_c).

Para determinar a expressão da energia cinética, vamos considerar que um carro de corrida de massa m, em trajetória retilínea, acelere a partir de uma velocidade inicial de intensidade v_0 com uma força motora constante de intensidade F na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento. Ao efetuar um deslocamento de módulo d, o trabalho realizado é $\tau = F \cdot d$.

Então, podemos dizer que a variação na energia cinética (ΔE_c) é igual a $F \cdot d$. Da segunda lei de Newton sabemos que $F = m \cdot a$. Assim, fazendo a substituição na expressão da variação de energia cinética, obtemos:

$$\Delta E_c = m \cdot a \cdot d \Rightarrow a \cdot d = \frac{\Delta E_c}{m}$$

Vamos, agora, considerar a equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot d \Rightarrow a \cdot d = \frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2}$$

Substituindo $a \cdot d = \frac{\Delta E_c}{m}$ na equação anterior, obtemos:

$$\Delta E_c = \frac{m v^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2}$$

Podemos então definir a energia cinética de um corpo de massa m e velocidade de intensidade v como:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

No SI, a unidade de medida de energia cinética é $kg \cdot (m/s)^2$, que equivale a $N \cdot m$, a mesma unidade de medida de trabalho, cujo nome especial no SI é joule (J).

Desse modo, quanto maiores forem a massa do corpo e a intensidade de sua velocidade, maior será a energia cinética. Por exemplo, quando um carro de passeio e um caminhão trafegam lado a lado com velocidades de mesma intensidade em relação a um referencial, a energia necessária para o movimento do caminhão a partir do repouso é maior do que a necessária para o movimento do carro de passeio, já que a massa do caminhão é maior que a massa do carro. Então, quando dois corpos estão se movimentando com velocidades de mesma intensidade, podemos afirmar que a energia cinética é maior para o corpo cuja massa é maior.

Exemplo

Qual é a energia cinética de um carro de 1.000 kg e de um caminhão de 8.000 kg que trafegam a 72 km/h?

Primeiro, vamos calcular a intensidade da velocidade em m/s.

$$v_{carro} = v_{caminhão} = \frac{72}{3,6} \text{ m/s}$$

$$\therefore v_{carro} = v_{caminhão} = 20 \text{ m/s}$$

Calculando a energia cinética do carro, temos:

$$E_{c_{carro}} = \frac{m_{carro} \cdot v_{carro}^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{c_{carro}} = \frac{1.000 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\therefore E_{c_{carro}} = 2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Em relação ao caminhão, temos:

$$E_{c_{caminhão}} = \frac{m_{caminhão} \cdot v_{caminhão}^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{c_{caminhão}} = \frac{8.000 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$\therefore E_{c_{caminhão}} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

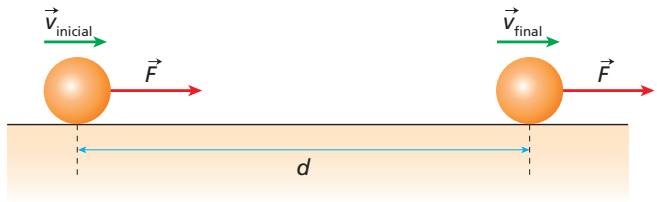
Portanto, o caminhão tem maior energia cinética.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando aplicamos uma força sobre um corpo movimentando-o e alterando sua velocidade, ou seja, provocando deslocamento e aceleração, sua energia cinética varia.

Vamos considerar uma esfera de massa m e dimensões desprezíveis que se move apenas em linha reta sobre uma superfície horizontal. A esfera está sob a ação de uma força resultante constante $\vec{F}$.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Esfera sob a ação de uma força constante $\vec{F}$.

Logo, o trabalho realizado corresponde à variação da energia cinética, ou seja:

$$\tau_{total} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_{total} = E_{c(final)} - E_{c(inicial)} \Rightarrow \tau_{total} = \frac{m \cdot v_{final}^2}{2} - \frac{m \cdot v_{inicial}^2}{2}$$

Essa expressão é conhecida como **teorema trabalho-energia cinética** ou **teorema da energia cinética (TEC)**.

Note que, se o trabalho for positivo, a energia cinética aumenta; se for negativo, a energia cinética diminui.

Exemplo

Um veículo com massa de 1.000 kg trafega em uma rua reta e horizontal com velocidade de intensidade 54 km/h e, ao frear, percorre 30 m com as rodas travadas até parar completamente.

a. Qual é o trabalho realizado pela força de atrito?

Lembrando que a força de atrito dinâmico ($F_{at.}$) pode ser calculada pela equação: $F_{at.} = \mu_d \cdot F_N$

A força de atrito é uma força dissipativa, portanto não há conservação da energia mecânica; então, nessa situação, a variação da energia mecânica corresponde ao trabalho da força de atrito. Como o veículo se move sobre a rua apenas na horizontal, a variação de sua energia potencial é nula; assim, podemos calcular o trabalho da força de atrito ($\tau_{F_{at.}}$) aplicando o teorema trabalho-energia cinética.

Para isso, primeiro, vamos calcular a intensidade da velocidade inicial, em m/s.

$$v_{inicial} = \frac{54}{3{,}6} \therefore v_{inicial} = 15 \text{ m/s}$$

Logo:

$$\tau_{F_{at.}} = \frac{m \cdot v_{final}^2}{2} - \frac{m \cdot v_{inicial}^2}{2} \Rightarrow \tau_{F_{at.}} = \frac{1.000 \cdot 0^2}{2} - \frac{1.000 \cdot 15^2}{2} \therefore \tau_{F_{at.}} = -1{,}125 \cdot 10^5 \text{ J}$$

b. Qual é a intensidade da força de atrito responsável pela frenagem do veículo?

A força de atrito tem sentido oposto ao do movimento; logo, o ângulo formado entre ela e o deslocamento é de 180°. Sua intensidade ($F_{at.}$) pode ser determinada pela equação do trabalho da força de atrito.

$$\tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot \cos 180° \Rightarrow$$
$$\Rightarrow -1{,}125 \cdot 10^5 = F_{at.} \cdot 30 \cdot (-1) \therefore F_{at.} = 3.750 \text{ N}$$

c. Assumindo que a resultante das forças resistentes responsáveis pela frenagem do veículo seja a força de atrito dinâmico, qual é o coeficiente de atrito dinâmico entre os pneus e o asfalto?

Vale lembrar que a intensidade da força de atrito dinâmico pode ser calculada pela equação:

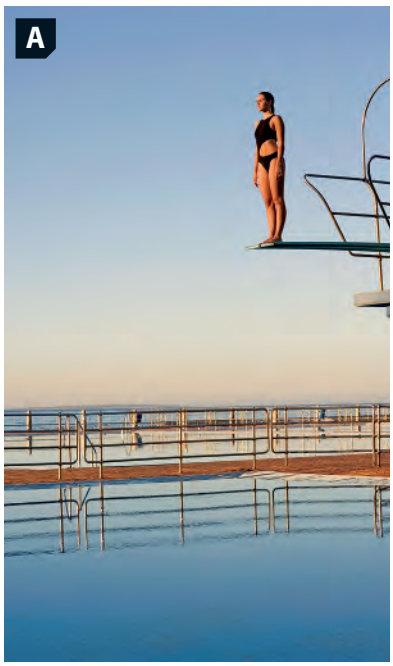
$$F_{at.} = \mu_d \cdot F_N$$

Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, o coeficiente de atrito dinâmico fica determinado por:

$$F_{at.} = \mu_d \cdot F_N = \mu_d \cdot m \cdot g \Rightarrow 3.750 = \mu_d \cdot 1.000 \cdot 10 \Rightarrow \mu_d = 0{,}375$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Energia potencial



JUICE FLAIR/SHUTTERSTOCK

WORLD ARCHERY FEDERATION/GETTY IMAGES

(A) Antes de saltar, a atleta acumula energia potencial gravitacional, que se transforma quase integralmente em energia cinética durante o salto. **(B)** Ao esticar a corda e flexionar o arco com a flecha, a atleta acumula energia potencial elástica; ao soltar a corda, grande parte dessa energia se transforma em energia cinética, que é transferida para a flecha lançada.

A atleta de salto ornamental (figura A) está inicialmente posicionada a certa altura em relação à superfície da água. Depois de saltar, a altura de seu centro de massa diminui e sua energia cinética aumenta. Dizemos, então, que, na posição inicial e na altura inicial, havia energia acumulada: energia potencial gravitacional. A atleta de tiro com arco (figura B), ao realizar trabalho puxando a corda e, consequentemente, a flecha, acumula energia no arco. Na posição em que ela está na imagem, podemos dizer que grande parte da energia potencial elástica será transformada em energia cinética quando ela soltar a corda, lançando a flecha.

Assim que o corpo entra em movimento, a energia potencial acumulada inicialmente pode ser convertida em energia cinética. As duas naturezas distintas da energia potencial, a **gravitacional** e a **elástica**, serão estudadas a seguir.

Energia potencial gravitacional

Ao elevar verticalmente um corpo de massa m a uma altura h, o corpo armazena determinada quantidade de energia, chamada de **energia potencial gravitacional** ($\boldsymbol{E_{pg}}$). Para deslocar o corpo com velocidade constante até a altura h, é necessária uma força que se oponha à força peso.

Por exemplo, na subida de uma escada rolante cujos degraus se deslocam com velocidade constante, a energia potencial das pessoas aumenta. Para isso, o motor da escada rolante realiza trabalho, que fica acumulado em forma de energia potencial gravitacional.

Pelo teorema do trabalho-energia cinética, temos:

$$\tau_{total} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_{motor} + \tau_P = 0 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \tau_{motor} - m \cdot g \cdot h = 0 \Rightarrow \tau_{motor} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow$$
$$\Rightarrow E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$

Note que, na subida, o peso realiza um trabalho resistente (negativo). A expressão obtida nos dá a energia potencial gravitacional, que é a energia associada a um sistema de corpos que interagem gravitacionalmente. Nesse caso, o sistema é formado pelo corpo de massa m e o planeta Terra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Uma atleta de massa igual a 60 kg está no alto de uma plataforma de mergulho. Considerando que o centro de massa da atleta esteja a 5 m de altura em relação à superfície da água, qual é sua energia potencial gravitacional em relação a essa superfície? Adote $g = 10\ m/s^2$.

Pela expressão obtida anteriormente para a energia potencial gravitacional, temos:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow E_{pg} = 60\ kg \cdot 10\ m/s^2 \cdot 5\ m \therefore E_{pg} = 3.000\ J$$

Isso quer dizer que, durante a descida, devido à ação da força gravitacional, a energia cinética da atleta poderá aumentar até atingir 3.000 J.

Energia potencial elástica

Em um sistema elástico, composto por uma mola, por exemplo, a energia é armazenada quando a mola se deforma, ou seja, quando é comprimida ou esticada. A energia associada à deformação em sistemas elásticos é denominada **energia potencial elástica** ($E_{p\ elást.}$).

Quando a causa da deformação cessa, a mola volta ao seu estado natural, em que a energia potencial elástica armazenada é igual a zero, pois não ocorre deformação.

Gráfico de $F_{elást.} \times d$

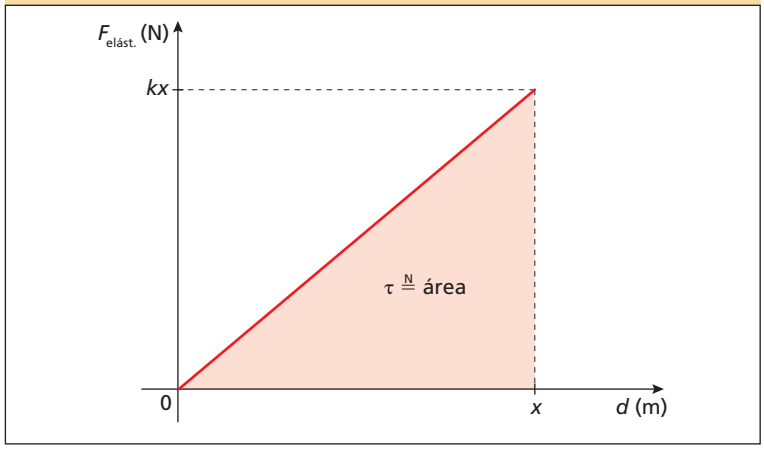


Gráfico da intensidade da força elástica ($F_{elást.}$) em função da deformação (d).

Na situação que envolve a atleta da modalidade de arco e flecha, a força elástica aplicada pelo arco, quando a corda é deformada de um comprimento x, pode ser aproximada pela lei de Hooke, dada por $F_{elást.} = k \cdot x$. Dessa forma, podemos construir um gráfico da intensidade da força pela deformação.

Pelo gráfico, podemos determinar o trabalho da força aplicada no arco quando a corda é deformada de um comprimento x, calculando a área abaixo da curva.

$$\tau_{F_{elást.}} \overset{N}{=} A = \frac{b \cdot h}{2} \Rightarrow \tau_{F_{elást.}} = \frac{x \cdot kx}{2} \Rightarrow \tau_{F_{elást.}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Esse trabalho corresponde à energia potencial elástica armazenada em razão da deformação x; logo:

$$E_{p\ elást.} = \tau_{F_{elást.}} \Rightarrow E_{p\ elást.} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Essa expressão nos permite calcular a energia potencial elástica.

Energia mecânica

Como no exemplo da atleta na plataforma de mergulho, um corpo no alto de um toboágua tem energia potencial gravitacional em relação à base do brinquedo antes de iniciar a descida; à medida que desce e sua velocidade aumenta, ele adquire energia cinética. No caso da atleta manuseando arco e flecha, o sistema acumula energia potencial elástica quando a corda é esticada e o arco é flexionado, e grande parte dessa energia é transferida para a flecha quando esta é lançada, transformando-se em energia cinética. Podemos definir a **energia mecânica** ($E_{mec.}$) como a soma das energias cinética e potencial, ou seja:

$$E_{mec} = E_c + E_p$$

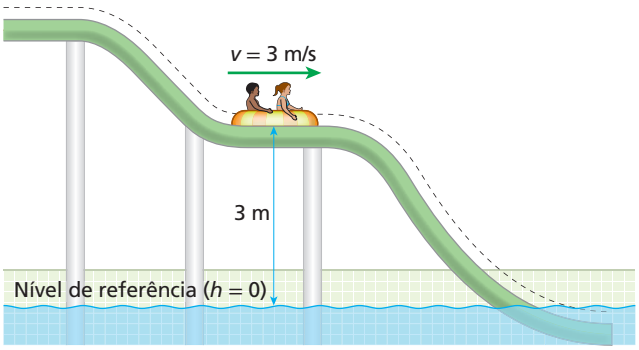
Em que: $E_p = E_{pg} + E_{p\ elást.}$

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo 1

Duas pessoas em uma boia, com massa total de 150 kg, descem por um toboágua. Qual é a energia mecânica do conjunto no instante indicado na figura a seguir, de acordo com o nível de referência adotado?



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de duas pessoas descendo por um toboágua. (Imagem sem escala.)

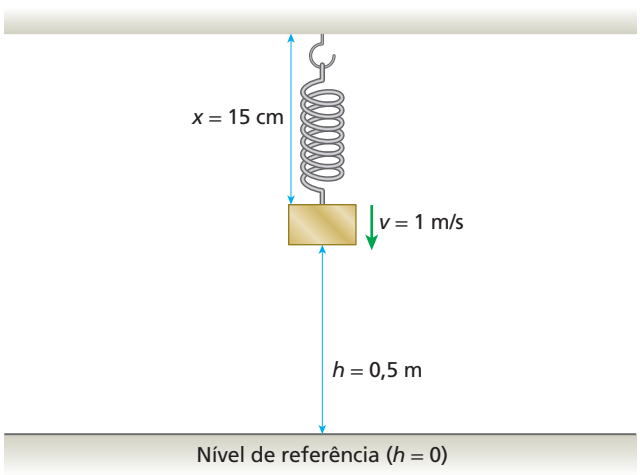
A energia mecânica do conjunto no instante indicado pode ser calculada da seguinte maneira:

$$E_{mec} = E_c + E_{pg} \Rightarrow E_{mec} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{mec} = \frac{150\ \text{kg} \cdot (3\ \text{m/s})^2}{2} + 150\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 \cdot 3\ \text{m} \therefore E_{mec} = 5.175\ \text{J}$$

Exemplo 2

Uma mola de massa desprezível, com comprimento natural de 10 cm e constante elástica $k = 2.000$ N/m, é suspensa verticalmente. Prende-se a ela uma massa de 12 kg e ela vai se deformando, como ilustra o esquema a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

A mola suspensa verticalmente se deforma com a presença da massa. (Imagem sem escala.)

Qual é a energia mecânica do sistema no instante representado, adotando-se o nível de referência dado na figura?

Primeiro, vamos calcular quanto a mola deformou. De acordo com a figura, a deformação da mola é:

$x = 15\ \text{cm} - 10\ \text{cm} \therefore x = 5\ \text{cm}$ ou $x = 0{,}05\ \text{m}$

Calculando a energia mecânica do sistema, temos:

$$E_{mec.} = E_c + E_p \Rightarrow E_{mec.} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h + \frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{mec.} = \frac{12\ \text{kg} \cdot (1\ \text{m/s})^2}{2} + 12\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 \cdot 0{,}5\ \text{m} + \frac{2.000\ \text{N/m} \cdot (0{,}05\ \text{m})^2}{2}$$

$$\therefore E_{mec.} = 68{,}5\ \text{J}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Conservação da energia mecânica

Em uma barragem de usina hidrelétrica, como a de Itaipu, a água armazena energia potencial gravitacional antes de cair para mover as turbinas. No processo de queda, a energia potencial gravitacional se transforma em energia cinética.

JOSE LUIS STEPHENS/SHUTTERSTOCK

Barragem da usina hidrelétrica Itaipu Binacional, localizada no rio Paraná, na fronteira entre Brasil e Paraguai (2021). A água represada armazena energia potencial gravitacional.

No *bungee jumping*, um esporte radical em que o esportista, amarrado a um cabo elástico, se lança do alto de uma plataforma, há em determinado ponto do salto (quando o cabo vai esticando e puxando a pessoa de volta para cima) energia cinética e energia potencial gravitacional, além de energia potencial elástica.

Considerando que as situações mencionadas ocorrem em um sistema conservativo, ou seja, no qual somente as forças conservativas realizam trabalho, como a força peso e a força elástica, temos conservação da energia mecânica. O **princípio da conservação da energia mecânica** pode ser enunciado da seguinte maneira:

JRP STUDIO/SHUTTERSTOCK

Bungee jumping (Eslovênia, 2009).

A energia mecânica total de um sistema permanece constante sempre que o trabalho das forças não conservativas é nulo.

Ou seja, apenas o peso, a força elástica, entre outras forças conservativas, podem realizar trabalho.

A energia mecânica de um sistema é representada pela soma da energia cinética e da energia potencial, ou seja:

$$E_{mec.} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h + \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Como a quantidade de energia mecânica total do sistema é sempre a mesma, temos:

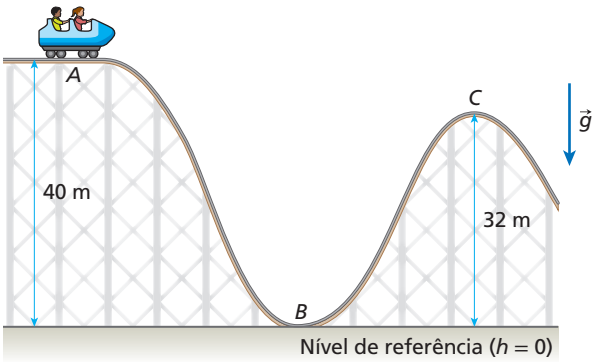
$$E_{mec.(inicial)} = E_{mec.(final)}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Em uma montanha-russa, um carrinho está no ponto *A* e parte do repouso para iniciar a descida, como ilustra a figura a seguir.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do conjunto carrinho mais passageiros em um trecho de montanha-russa. (Imagem sem escala.)

Despreze os atritos e a resistência do ar e considere que o conjunto carrinho mais passageiros tem massa total de 300 kg, assumindo $|\vec{g}| = 10\ m/s^2$.

a. Qual é a intensidade da velocidade do carrinho no ponto *B*?

Aplicando o princípio da conservação da energia mecânica, temos:

$$E_{mec(A)} = E_{mec(B)} \Rightarrow E_{pg(A)} + E_{c(A)} = E_{pg(B)} + E_{c(B)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cancel{m} \cdot g \cdot h_A + 0 = 0 + \frac{\cancel{m} \cdot v_B^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10\ m/s^2 \cdot 40\ m = \frac{v_B^2}{2} \therefore v_B \simeq 28{,}3\ m/s$$

b. Qual é a energia cinética do carrinho no ponto *C*?

Aplicando novamente o princípio da conservação da energia mecânica, temos:

$$E_{mec(A)} = E_{mec(C)} \Rightarrow m \cdot g \cdot h_A + 0 = m \cdot g \cdot h_c + E_{c(C)} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 300\ kg \cdot 10\ m/s^2 \cdot 40\ m =$$
$$= 300\ kg \cdot 10\ m/s^2 \cdot 32\ m + E_{c(C)} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 120.000\ J = 96.000\ J + E_{c(C)} \therefore E_{c(C)} = 24.000\ J$$

Fique por dentro

Energia na pista de *skate*

PHET Physics Education Technology. **Energia na pista de *skate***. Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park/latest/energy-skate-park_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 11 jun. 2024.

Nesse simulador, você pode estudar a conservação da energia mecânica por meio da variação dos parâmetros de um *skatista* em uma pista de *skate*.
É possível criar diferentes caminhos, com rampas e saltos, e verificar como a energia cinética, a energia potencial gravitacional e o atrito afetam o movimento.

Respostas e subsídios no Suplemento para o do professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

1. De acordo com o princípio da conservação da energia, o que ocorre com a energia total de um sistema isolado? Exemplifique. 1. A energia total se conserva.

2. Uma partícula sujeita a uma força resultante de intensidade 2,0 N move-se sobre uma reta. Sabendo que entre dois pontos *P* e *Q* dessa reta a variação de sua energia cinética é de 3,0 J, calcule a distância entre *P* e *Q*. 2. 1,5 m

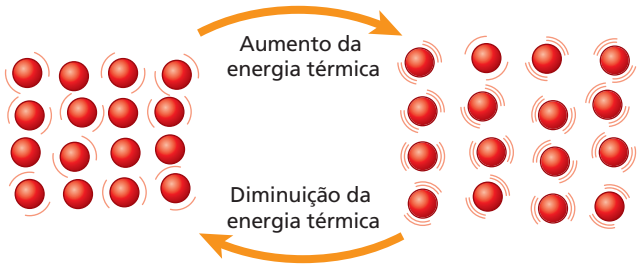
3. Uma pequena bola de massa igual a 200 g está caindo e, a 2,0 m de altura do solo, apresenta uma velocidade de intensidade 6,0 m/s. Sendo $g = 10\ m/s^2$, nessa posição, a energia mecânica da bola em relação ao solo é de: 3. Alternativa **b**.

a. 0,76 J
b. 7,6 J
c. 76 J
d. 0,76 kJ
e. 7,6 kJ

Energia térmica e calor

Objetos e substâncias são constituídos por partículas, ou seja, átomos ou moléculas que se arranjam de diferentes maneiras, dependendo da estrutura do material. Todas as partículas que compõem a estrutura de um corpo se agitam constantemente, isto é, estão sempre em movimento. Quanto maior a agitação ou o movimento, maior o espaço ocupado por elas.

A agitação média das partículas e o espaço médio que ocupam dependem da energia térmica armazenada pelo corpo. Essa energia pode ser descrita como a soma total da energia cinética das partículas que constituem um dado corpo ou substância. Por isso, para indicar a energia de um corpo decorrente da agitação de suas partículas, usamos a expressão **energia térmica**.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

O aumento ou a diminuição da energia térmica de um corpo faz com que suas partículas se agitem com mais ou menos intensidade. (Cores-fantasia.)

Quando essa energia está em trânsito, o que ocorre entre corpos com temperaturas diferentes, ela é chamada de **calor**.

É o que acontece, por exemplo, quando tocamos em uma xícara com chá quente. Nesse caso, há troca de calor entre nossas mãos e a superfície quente da xícara.

BLAMARYBLA/SHUTTERSTOCK

As mãos trocam calor com a superfície quente da xícara de chá.

A necessidade de nos agasalharmos bem em dias frios também se deve às trocas de calor; quanto mais camadas de tecido vestirmos, mais difícil será a troca de calor entre o nosso corpo e o ambiente.

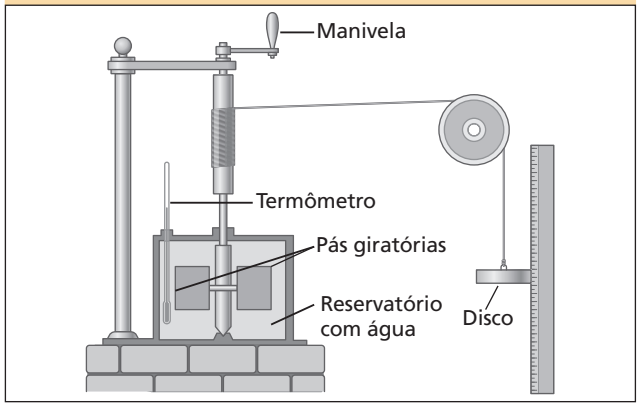
Experimento de James Prescott Joule

A construção do conhecimento científico envolve questionamentos, estudos e inúmeros experimentos realizados por cientistas de todo o mundo. O físico britânico James Prescott Joule (1818-1889), por exemplo, realizou experimentos que contribuíram de forma significativa para a elaboração conceitual do princípio da conservação da energia. No mais conhecido deles, Joule procurou demonstrar que a energia mecânica poderia ser transformada em energia térmica.

A ilustração mostra o dispositivo utilizado pelo cientista, composto de uma manivela, um disco espesso e massivo, duas pás giratórias submersas em um reservatório com água e um termômetro.

Dispositivo de Joule

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em DISPOSITIVO de Joule. **Harper's New Monthly Magazine**, n. 231, ago. 1869.

Esquema do experimento de Joule.

O experimento consistia em rodar continuamente a manivela do dispositivo para que o disco subisse e descesse, movimentando as pás. Depois de algum tempo, era possível observar que o termômetro imerso no reservatório indicava que a temperatura da água havia subido. Joule repetiu o experimento muitas vezes, testando vários discos de massas diferentes e várias alturas, sempre obtendo alguma alteração na temperatura da água. Ele então relacionou o trabalho realizado pela força peso à quantidade de energia transferida em forma de calor, notando que, em casos ideais, o trabalho e a energia térmica transferida para a água deveriam ser equivalentes.

Energia química

Algumas substâncias químicas são utilizadas como fonte de energia, por exemplo, para mover automóveis, cozinhar alimentos e contrair músculos. Essa energia é liberada por meio de reações químicas e está associada às ligações químicas e às interações intermoleculares das substâncias envolvidas no processo.

Esse tipo de energia é denominado **energia química**, sendo a soma das energias potencial química e cinética das substâncias envolvidas na reação. Assim como as outras formas de energia que estudamos até agora, ela pode ser armazenada e convertida em outros tipos. Por exemplo, organismos que realizam fotossíntese convertem a energia proveniente da luz solar em energia química por meio da formação das ligações que constituem as moléculas de glicose. Outro exemplo é a conversão de energia química em energia mecânica, que se dá na hidrólise de trifosfato de adenosina, ou ATP (do inglês, *adenosine triphosphate*), usada no corpo humano para a contração muscular. Por último, há transformação de energia química em energia elétrica em pilhas e baterias, como as baterias de lítio presentes em *smartphones* e computadores portáteis. Nesses casos, é importante atentar-se para o correto descarte dessas pilhas e baterias já que são compostas de substâncias químicas que em contato com o solo podem contaminá-lo, inclusive lençóis freáticos localizados nas proximidades.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre — Registre em seu caderno

4. É comum esfregarmos as mãos em dias frios para aquecê-las.
- **a.** Que tipos de energia você identifica nessa situação?
- **b.** Por que o ato de esfregar as mãos faz com que elas se aqueçam?

5. Por meio de reações químicas, algumas substâncias podem ser utilizadas como fonte de energia para a realização de diversas tarefas. A energia química, associada às ligações químicas e às interações intermoleculares das substâncias, pode ser armazenada e convertida em outros tipos de energia. Descreva duas situações do seu cotidiano em que ocorre a transformação de energia química em outro tipo de energia.

4. a. Energia cinética e energia térmica.
4. b. A energia cinética do movimento das mãos é transformada em energia térmica, provocando a sensação de aquecimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EM FOCO Consumo e descarte consciente

ODS 7

ODS 12

Como consequência de um consumo cada vez mais acelerado, a sociedade produz mais resíduos. Os depósitos e os aterros sanitários estão abarrotados e se multiplicam rapidamente por todo o mundo, devido ao crescimento da população. Os produtos hoje em dia recebem camadas e mais camadas de embalagens, feitas de vidro, lata, papel e materiais plásticos.

No Brasil, uma pessoa sozinha produz em média mais de 1 kg de resíduos por dia. Isso significa cerca de 381 kg por ano para cada indivíduo. Em 2022, só o Brasil produziu cerca de 82 milhões de toneladas de resíduos. Chama a atenção o fato de que parte significativa do resíduo gerado vem do desperdício de alimentos. Em todos os continentes houve, nesse mesmo ano, mais de 1 bilhão de refeições desperdiçadas por dia. Considerando todos esses dados, mantendo o ritmo e com o crescimento da população e do consumo, a geração mundial de resíduo pode chegar a 3,8 bilhões de toneladas em 2050.

Desse modo, preocupações que devem ser resolvidas com urgência são o descarte correto e o destino de todo o resíduo gerado, seja individualmente, seja por indústrias.

DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS

Veículos e máquinas especiais são utilizados para acomodar montanhas de lixo no Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia, localizado no estado do Ceará (2022).

OBJETO DIGITAL
Vídeo: *Smartphones*: produção e consumo

No entanto, algo que deve ser considerado ao resolver esse problema é que nem todo resíduo é lixo. Muitos resíduos gerados podem ser recuperados, tratados, reciclados ou reutilizados e são recursos em potencial.

Portanto, é fundamental que cada indivíduo tenha uma consciência ambiental, compreendendo a necessidade de descartar os resíduos de maneira adequada para que cada item seja destinado ao tratamento mais apropriado e sustentável para o meio ambiente. Em várias cidades brasileiras, papel, garrafas de vidro e de plástico, latas, pilhas, baterias, celulares obsoletos e sucata eletrônica em geral possuem locais ou dias em que coletas específicas são realizadas, diferente dos resíduos orgânicos, uma vez que boa parte desses itens é passível de reciclagem ou requer um tratamento específico para que seu descarte não cause grandes impactos ambientais à saúde humana e aos ecossistemas.

No entanto, embora se apresente como um problema para a sociedade de consumo atual, em que cada vez mais bens produzidos têm se tornado descartáveis, resíduos também podem ser utilizados como importante fonte de energia. As bactérias que se proliferam em aterros sanitários,

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Os resíduos no seu dia a dia

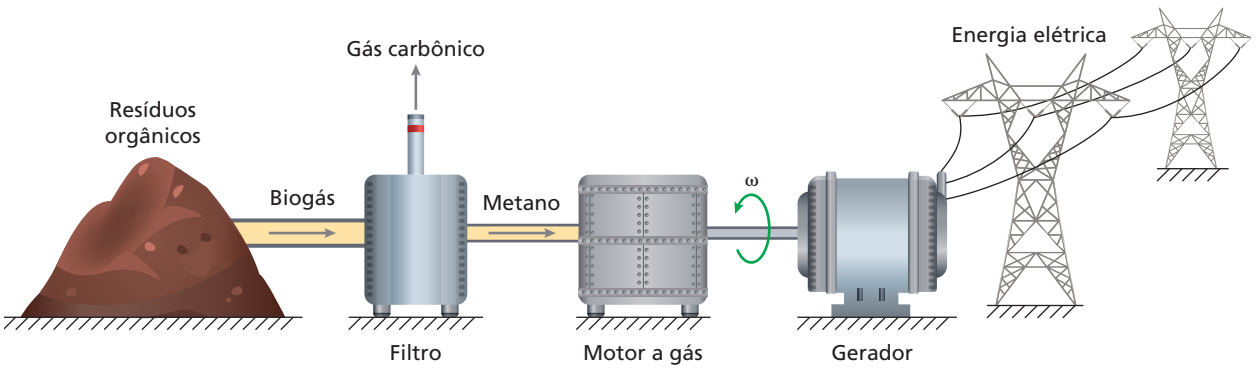
Instituto Akatu. Resíduos. Disponível em: https://passos.akatu.org.br/residuos/. Acesso em: 18 ago. 2024.

O *site* conta com informações e vídeos, além de mostrar 10 práticas cotidianas para lidar melhor com o "lixo".

por exemplo, alimentam-se da matéria orgânica lá existente e produzem o chamado biogás, uma mistura composta principalmente de metano e gás carbônico.

É justamente o metano, um gás de efeito estufa que contribui para o agravamento do aquecimento global, que pode ser utilizado para a produção de energia elétrica. O biogás produzido com a decomposição de resíduos orgânicos nos aterros sanitários pode ser captado através de drenos especiais e passa por um sistema de filtragem que separa o metano do gás carbônico. O metano é então direcionado para o acionamento de motores, semelhantes aos utilizados nos carros movidos a gás. Ao entrar em operação, os motores fazem girar os eixos de geradores que transformam energia cinética em energia elétrica, sendo capazes de abastecer a rede elétrica de indústrias ou cidades inteiras.

A figura ilustra as etapas para a produção de energia elétrica a partir da decomposição de resíduos orgânicos.



Representação esquemática das etapas de produção de energia elétrica a partir do biogás. (Imagem sem escala.)

Créditos de carbono: uma forma de remunerar iniciativas que contribuem para reduzir a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Eles possibilitam que países ou empresas reduzam sua pegada de carbono e se tornem mais sustentáveis. Os créditos são negociáveis no mercado internacional e podem ser comprados ou vendidos.

O biogás obtido a partir de resíduos orgânicos descartados em aterros sanitários, além de constituir uma fonte de energia limpa e renovável, poderia suprir cerca de 15% da demanda energética brasileira. Há vários projetos para o aproveitamento de resíduos sólidos na produção de energia elétrica que contribuem para o desenvolvimento econômico e sustentável do país, ao promover a seleção e a armazenagem adequadas dos resíduos, que são a base de todo o processo, e o não lançamento do metano diretamente na atmosfera, o que pode gerar **créditos de carbono**, moeda forte que pode favorecer o Brasil em negociações internacionais sobre mudanças climáticas, ambiente e sustentabilidade.

1. Com base nas informações do texto, estime quanto lixo a população do município em que você mora descarta, em média, diariamente.
2. Os aterros sanitários do município em que você mora situam-se longe da região central? Você já visitou algum deles?
3. No município em que você mora é realizada a coleta seletiva? A população descarta os resíduos de maneira correta, separando o material orgânico do reciclável? Considerando a forma como a população descarta os resíduos, você percebe que existe uma consciência cidadã e ambiental?
4. Que conversões de energia você identifica no esquema apresentado nesse texto sobre a produção de energia elétrica a partir do biogás resultante da decomposição de resíduos orgânicos?
5. Algumas cidades, como Barcelona, na Espanha, escoam seu lixo por sistemas de dutos subterrâneos de sucção que terminam em usinas de produção de energia elétrica a partir do vapor dos gases liberados pela incineração de resíduos sólidos. Em grupo com dois colegas, pesquisem o sistema de coleta e tratamento de resíduos sólidos em Barcelona e as práticas sustentáveis no tratamento de resíduos em outras duas cidades do mundo. Compartilhem os resultados da pesquisa com os outros grupos. Algum dos sistemas de coleta e tratamento de resíduos pesquisados traria benefícios para sua comunidade se fosse implantado no município? Se sim, quais?

4. Energia química, energia cinética/mecânica e energia elétrica.

5. Resposta pessoal. Se achar conveniente, na sala de aula com os estudantes, organizem os resultados da pesquisa dos diferentes grupos em um mapa de práticas sustentáveis no tratamento de resíduos. Com essa atividade, os estudantes podem organizar e comparar os dados pesquisados para as cidades de diferentes países do mundo, incluindo dados do munícipio onde vivem, refletindo sobre a importância dessas práticas para o desenvolvimento sustentável e para a qualidade de vida da população.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. A secular rua Augusto de Lima, em Nova Lima, Minas Gerais, é bastante íngreme. Para facilitar o trânsito de pedestres, o logradouro conta com rampas em zigue-zague, além de escadas laterais.

NONATO III/CC BY 4.0/WIKIMEDIA FOUNDATION

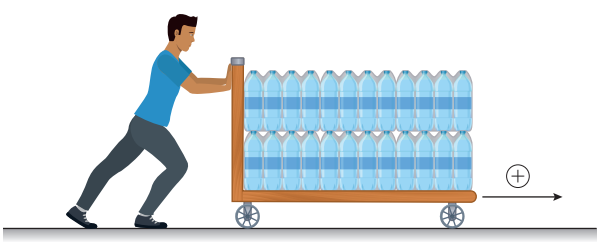
Rampas em zigue-zague na rua Augusto de Lima, em Nova Lima, Minas Gerais (2020).

Suponha que um atleta, em treinamento para uma final de boxe peso-pesado, vá da base da ladeira até seu topo com velocidade de intensidade constante em relação ao solo, primeiro pela escada, depois ao longo das rampas. Pela escada, o trabalho muscular realizado pelo atleta é τ_E e a potência empreendida por ele é Pot_E, enquanto pelas rampas essas mesmas grandezas são, respectivamente, τ_R e Pot_R. Considerando-se que a massa do atleta não sofra alteração, compare τ_E com τ_R e Pot_E com Pot_R.

1. $\tau_E = \tau_R$; $Pot_E > Pot_R$

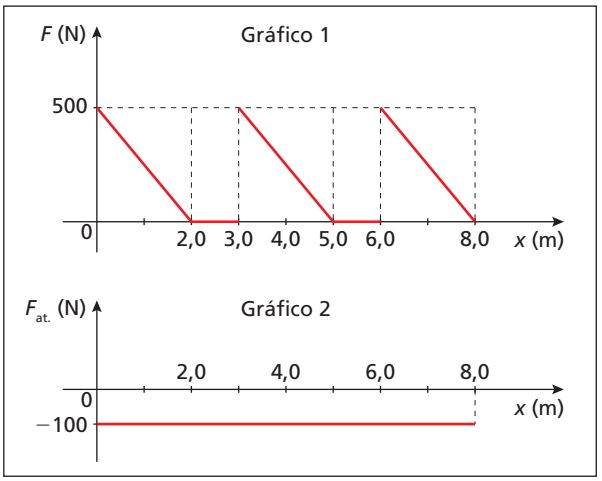
2. A jovem Dani é uma exímia *skatista,* capaz de realizar manobras radicais. Certo dia, porém, quando percorria um trecho horizontal com velocidade de intensidade 36 km/h, ela se desequilibrou e caiu, percorrendo 10 m em linha reta até parar. Felizmente, Dani não se machucou, já que estava equipada com capacete, luvas e joelheiras. Admitindo-se que a garota tenha sido freada pela ação exclusiva das forças de atrito aplicadas pelo solo, com coeficiente de atrito cinético constante e igual a μ, que $g = 10\ m/s^2$ e que a massa da jovem é igual a 58 kg, determine o valor de μ. 2. $\mu = 0{,}5$

3. (UFTM-MG) O funcionário de um armazém, responsável pela reposição de produtos, empurra, a partir do repouso e em movimento retilíneo, um carrinho com massa total de 350 kg sobre uma superfície plana e horizontal.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Em um determinado trecho de 8 m de comprimento, ele dá três empurrões consecutivos no carrinho, exercendo uma força horizontal para a direita, cuja intensidade é representada no gráfico 1, em função da posição do carrinho. Nesse mesmo trecho, atua sobre o carrinho uma força de atrito de intensidade constante, igual a 100 N, representada no gráfico 2.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

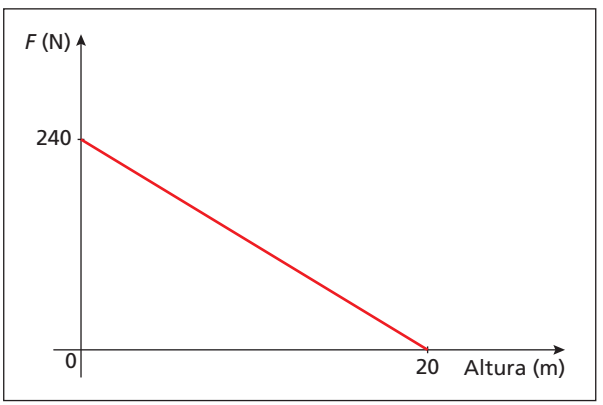
Calcule:

a. a intensidade máxima da força resultante que atuou no carrinho nos primeiros 2 m de deslocamento;

b. a velocidade atingida pelo carrinho ao final dos 8 m.

3. a. 400 N
3. b. 2 m/s

4. (FGV-AM) Uma partícula de massa 4,0 kg é lançada verticalmente para cima e alcança uma altura máxima de 20 m. O gráfico mostra como varia o módulo da força de resistência entre a partícula e o meio, ao longo da subida.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

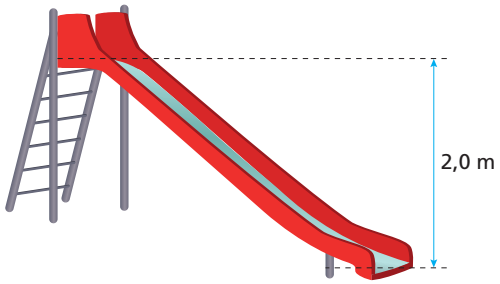
Considerando-se $g = 10\ m/s^2$, a velocidade inicial de lançamento tem módulo igual a: 4. Alternativa **c**.

a. 10 m/s
b. 20 m/s
c. 40 m/s
d. 60 m/s
e. 80 m/s

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

5. (Uerj-RJ) Em uma praça, uma criança com massa de 30 kg desce por um escorrega. A altura considerada do topo do escorrega até seu ponto mais baixo é de 2,0 m, como ilustra a figura a seguir.



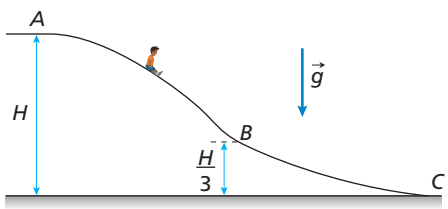
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s² e que, durante a descida da criança, ocorre uma perda de energia mecânica de 60%. Ao atingir o ponto mais baixo do escorrega, a velocidade da criança, em m/s, é igual a:

5. Alternativa **a**.

a. 4,0
b. 5,0
c. 7,0
d. 8,0

6. Um garoto de massa $m = 30$ kg parte do repouso do ponto *A* do tobogã perfilado na figura e desce, sem sofrer a ação de atritos ou da resistência do ar, em direção ao ponto *C*.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do garoto descendo o tobogã. (Imagem sem escala.)

Sabendo que $H = 5$ m e $g = 10$ m/s², calcule:

6. a. $1 \cdot 10^3$ J

a. a energia cinética do garoto ao passar pelo ponto *B*;

b. a intensidade de sua velocidade ao atingir o ponto *C*.

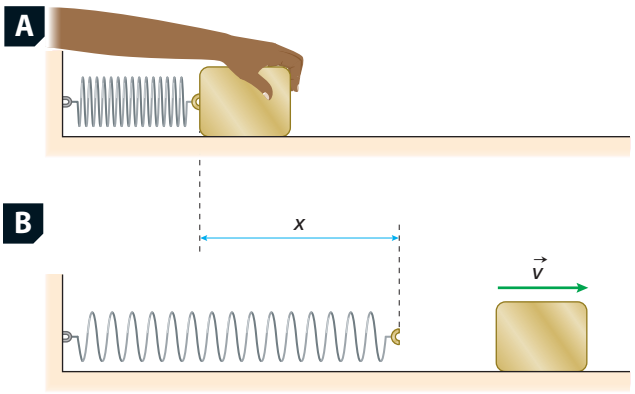
6. b. 10 m/s

7. (Fuvest-SP) Um equipamento de *bungee jumping* está sendo projetado para ser utilizado em um viaduto de 30 m de altura. O elástico utilizado tem comprimento relaxado de 10 m. Qual deve ser o mínimo valor da constante elástica desse elástico para que ele possa ser utilizado com segurança no salto por uma pessoa cuja massa, somada à do equipamento de proteção a ela conectado, seja de 120 kg? 7. Alternativa **e**.

a. 30 N/m
b. 80 N/m
c. 90 N/m
d. 160 N/m
e. 180 N/m

Note e adote: Despreze a massa do elástico, as forças dissipativas e as dimensões da pessoa; aceleração da gravidade = 10 m/s².

8. No experimento realizado a seguir, uma mola ideal, de constante elástica *k*, é comprimida por um operador, lançando um bloco de massa *m* sobre uma mesa horizontal perfeitamente polida.

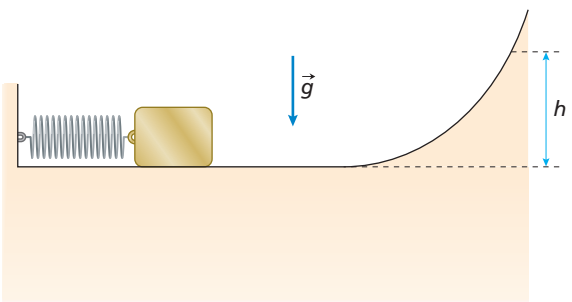


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do arranjo experimental. **(A)** Mola comprimida de um comprimento *x*, com o bloco em repouso; **(B)** mola em seu estado natural, não deformada, com o bloco em movimento. (Imagem sem escala.)

Na situação A, a mola está comprimida de um comprimento *x* e o bloco está em repouso. Na situação B, a mola está sem deformação e o bloco encontra-se em movimento, com velocidade de intensidade *v*. Desprezando a influência do ar, determine o valor de *v*. 8. $v = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot x$

9. No arranjo experimental da figura, desprezam-se o atrito e o efeito do ar. O bloco de massa igual a 4,0 kg, inicialmente em repouso, comprime a mola ideal de 20,0 cm, cuja constante elástica é $k = 3{,}6 \cdot 10^3$ N/m, estando apenas encostado nela.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do arranjo experimental, com a mola prestes a impulsionar o bloco. (Imagem sem escala.)

Largando-se a mola, esta se distende impulsionando o bloco, que atinge a altura máxima *h*. Adote $g = 10{,}0$ m/s² e determine:

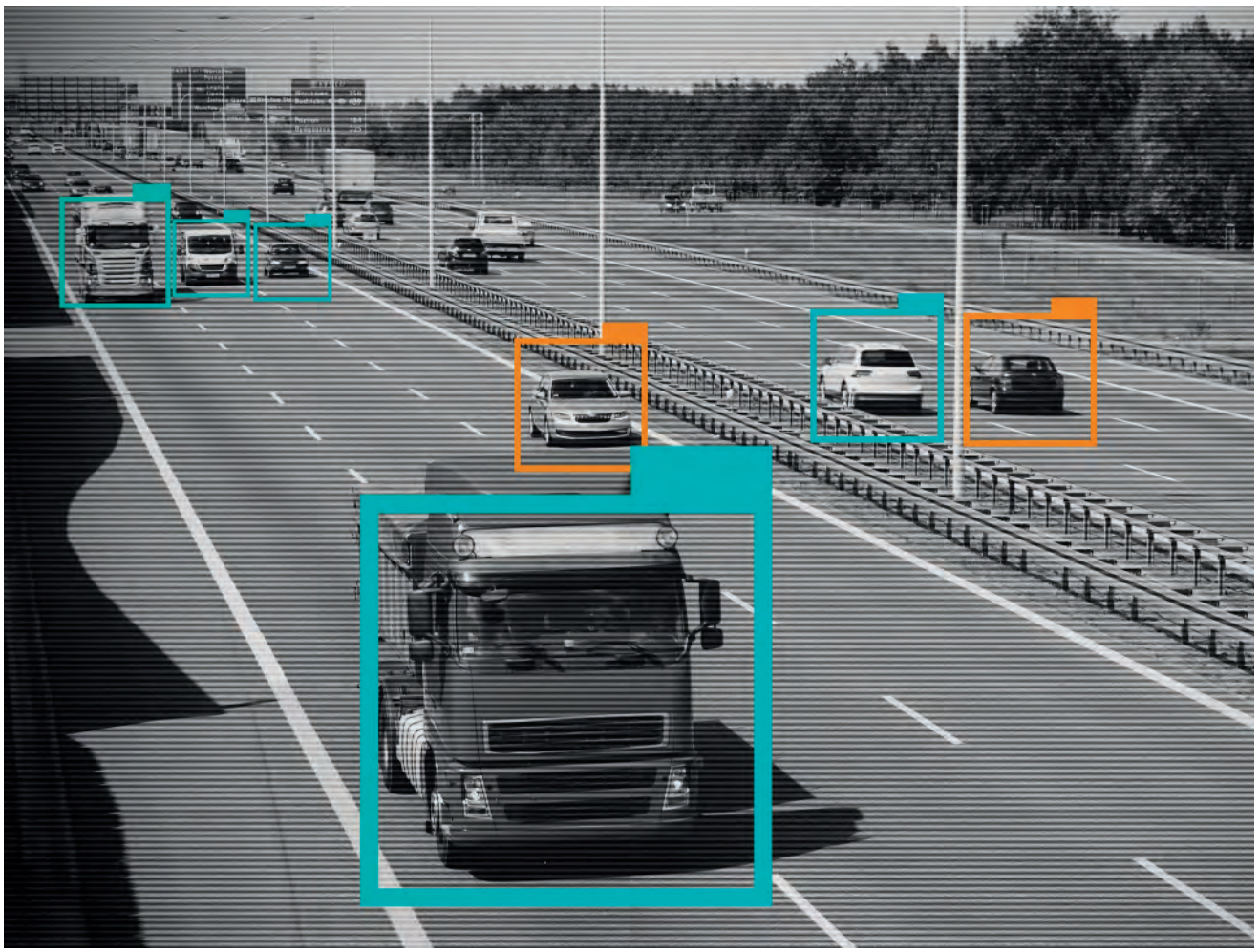
a. a intensidade da velocidade do bloco imediatamente após desligar-se da mola; 9. a. 6,0 m/s

b. o valor da altura *h*. 9. b. $h = 1{,}8$ m

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 8

Quantidade de movimento e sua conservação



PROXIMA STUDIO/SHUTTERSTOCK

Representação de uma imagem capturada por uma câmera de videomonitoramento e analisada por um *software* de inteligência artificial para identificar informações da intensidade da velocidade dos veículos que trafegam por uma rodovia.

ODS 11

A busca por soluções sustentáveis para a vida nas cidades modernas é um desafio que envolve diversas áreas do conhecimento, como a Física, a Biologia, a Química, a Matemática, entre outros. Com o crescimento urbano acelerado, torna-se cada vez mais urgente desenvolver sistemas de transporte eficientes e sustentáveis que minimizem o impacto ambiental e melhorem a qualidade de vida. A Física desempenha um papel crucial na otimização de sistemas de mobilidade, desde o *design* de veículos mais eficientes até estudos de acidentes de trânsito. Com base nas informações coletadas em locais de acidentes, são realizadas análises que envolvem conceitos físicos, como quantidade de movimento e impulso, a fim de determinar as intensidades das velocidades dos veículos antes do evento. O desenvolvimento de tecnologias de videomonitoramento e de *softwares* de análise de imagens com algoritmos cada vez mais eficientes também ajudam a perícia a avaliar se os veículos envolvidos estavam ou não acima da velocidade permitida, por exemplo, e a garantir a segurança dos cidadãos.

Neste capítulo, vamos estudar as grandezas físicas vetoriais quantidade de movimento e impulso e como elas podem ser aplicadas no estudo de colisões mecânicas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quantidade de movimento

Imagine que, em um teste de segurança veicular, um carro colida com um obstáculo fixo a 60 km/h, do mesmo modo que um caminhão também vá colidir contra o mesmo obstáculo a 60 km/h. Considere que as colisões durem o mesmo intervalo de tempo e que os dois veículos parem após o impacto.

Como a massa do caminhão é maior que a do carro, no ato da colisão o obstáculo aplicará no caminhão uma força de maior intensidade para detê-lo, embora as velocidades iniciais do caminhão e do carro tenham sido admitidas com módulos iguais. Para analisar situações como essas, a Física utiliza os conceitos de impulso e quantidade de movimento. No caso do caminhão, o impulso de retardamento tem magnitude maior devido à sua maior massa, resultando em uma variação de quantidade de movimento também maior, em comparação com a do carro. Em outro cenário, se considerarmos colisões entre carros de mesmo modelo, com velocidades iniciais de intensidades diferentes e velocidades finais nulas, diremos que o impulso que deverá ser aplicado no carro mais veloz para detê-lo será maior do que o impulso que deverá ser aplicado ao carro mais lento, uma vez que o primeiro tem maior quantidade de movimento.

Para avaliar e garantir a segurança dos veículos, testes de colisão são realizados.

CONRADO/SHUTTERSTOCK

Teste de colisão frontal em um carro de passeio.

Definimos a **quantidade de movimento** de um corpo **($\vec{Q}$)**, ou **momento linear**, como o produto da massa desse corpo pela sua velocidade.

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

A quantidade de movimento é uma grandeza vetorial que tem a mesma direção e o mesmo sentido da velocidade, com módulo dado por $Q = m \cdot v$. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida da quantidade de movimento é kg · (m/s).

Exemplo

Considere um carro cuja massa é de 900 kg e que se movimenta com velocidade de intensidade 20 m/s. Qual é o módulo de sua quantidade de movimento?

Para calcular o módulo da quantidade de movimento, basta substituir os valores da massa e da velocidade na equação; portanto, temos:

$$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 900 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m/s}$$

$$\therefore Q = 18.000 \text{ kg} \cdot (\text{m/s})$$

Impulso de uma força

No exemplo da colisão entre um carro e um obstáculo fixo, antes do impacto, o carro tem quantidade de movimento específica, que é alterada durante o choque, ou seja, há uma variação na quantidade de movimento do veículo. Isso significa que a quantidade de movimento de um corpo varia toda vez que ele sofre alguma alteração em sua velocidade, seja em módulo, seja em direção.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um veículo de teste antes e depois da colisão com um obstáculo fixo. (Imagem sem escala.)

Esse processo ocorre porque uma força é aplicada durante o breve intervalo de tempo do choque.

O produto da resultante média das forças que atuam sobre um corpo no intervalo de tempo Δt durante o qual essa força que age se chama **impulso ($\vec{I}$)**, pode ser calculado por:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

O impulso é uma grandeza vetorial que mede a **variação da quantidade de movimento** $\Delta\vec{Q}$ de um objeto. Ele é causado pela ação de uma força durante determinado intervalo de tempo. No caso de uma força de intensidade variável, podemos considerar que uma força média age sobre o corpo, ou seja, existe uma força constante que produz o mesmo efeito dinâmico da força variável no mesmo intervalo de tempo Δt.

O impulso $\vec{I}$ tem a mesma direção e o mesmo sentido da força $\vec{F}$. No SI, a unidade de medida do impulso é o N · s, que é equivalente a kg · m/s, já que 1 N = 1kg · (m/s^2).

De acordo com a segunda lei de Newton, se uma força resultante $\vec{F}$ é aplicada a um corpo de massa m, o corpo vai adquirir uma aceleração $\vec{a}$, tal que:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta\vec{t}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sendo $\Delta\vec{v} = \vec{v}_{final} - \vec{v}_{inicial}$, a expressão anterior pode ser escrita como:

$$\vec{F} = m \cdot \frac{(\vec{v}_{final} - \vec{v}_{inicial})}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_{final} - \vec{v}_{inicial}) \Rightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \vec{v}_{final} - m \cdot \vec{v}_{inicial}$$

Como $\vec{F} \cdot \Delta t$ é o impulso $\vec{I}$, temos:

$$\vec{I} = m \cdot \vec{v}_{final} - m \cdot \vec{v}_{inicial} \Rightarrow \vec{I} = \vec{Q}_{final} - \vec{Q}_{inicial}$$

Portanto: $\vec{I} = \Delta\vec{Q}$

Em caso de movimentos unidirecionais, para obter o valor algébrico do impulso, essa equação também pode ser aplicada na forma escalar:

$$I = \Delta Q$$

Com base no resultado obtido, definimos o **teorema do impulso**, que determina que o impulso da resultante das forças ($\vec{F}_R$) que agem sobre um corpo em certo intervalo de tempo é igual à variação da quantidade de movimento desse corpo nesse mesmo intervalo de tempo.

Exemplo

Um carro de 1.000 kg trafega em uma estrada e freia bruscamente, deixando marcas no asfalto antes de colidir com outro veículo que estava parado. Analisando as marcas deixadas no asfalto, um técnico forense concluiu que, durante a frenagem, uma força de intensidade média 5.000 N foi aplicada no carro durante um intervalo de tempo de 2 s.

Considerando que esse impulso foi aplicado no sentido oposto ao da velocidade inicial e sabendo que a velocidade final após a frenagem foi de 10 m/s, qual é o valor da velocidade do veículo imediatamente antes da frenagem?

MADSCI/ISTOCKPHOTO/GETTY IMAGES

Marcas de pneus sobre o asfalto. Essas marcas podem ser analisadas para obter informações sobre a velocidade do veículo.

Durante a frenagem, o impulso aplicado teve como módulo:

$$I = F \cdot \Delta t \Rightarrow I = 5.000\ \text{N} \cdot 2\ \text{s} \therefore I = 10.000\ \text{N} \cdot \text{s}$$

O impulso corresponde à variação da quantidade de movimento. Como foi aplicado no sentido oposto ao da velocidade, temos:

$$I = \Delta Q \Rightarrow -10.000\ \text{N} \cdot \text{s} = m \cdot v_{final} - m \cdot v_{inicial} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -10.000\ \text{N} \cdot \text{s} = 1.000\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s} - 1.000 \cdot v_0 \therefore v_0 = 20\ \text{m/s}$$

Quando uma força tem direção constante, a intensidade do impulso dessa força $\vec{F}$ aplicada em um intervalo de tempo Δt pode ser obtida pela área sob a curva e limitada pelo eixo dos tempos em um gráfico do valor algébrico da força em função do tempo.

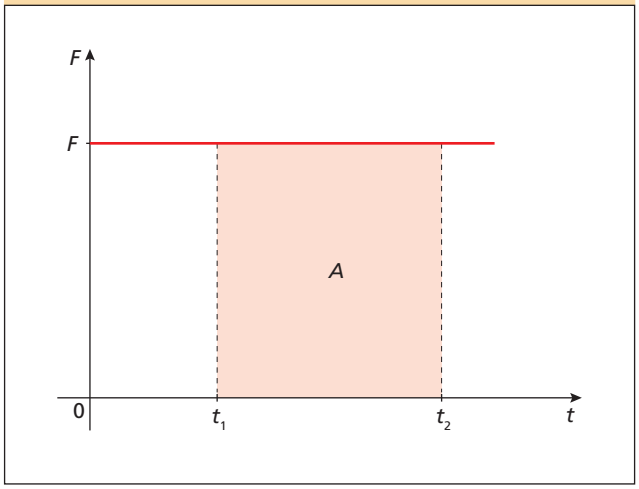
A área (A) do retângulo formado é dada por:

$$A = \text{altura} \cdot \text{base} \Rightarrow A = F \cdot (t_2 - t_1) \Rightarrow A = F \cdot \Delta t$$

Portanto, a área do retângulo é numericamente igual à intensidade do impulso da força $\vec{F}$ no intervalo de tempo Δt.

$$I \overset{N}{=} A$$

Gráfico de $F \times t$ para uma força constante



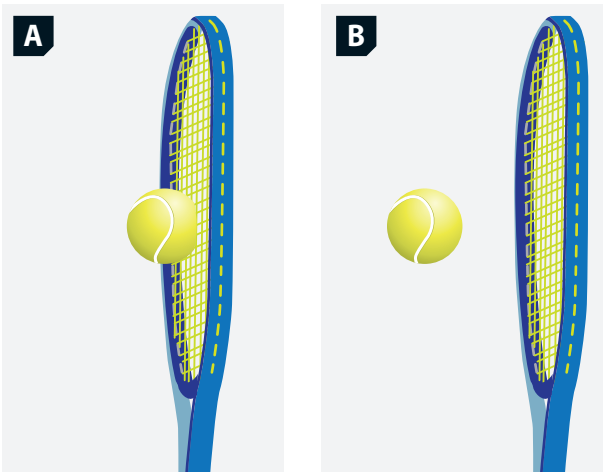
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da intensidade da força em função do tempo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Uma bola de tênis de massa $m = 60$ g é lançada horizontalmente para a direita com velocidade de intensidade 90 km/h para colidir contra uma raquete disposta na vertical.

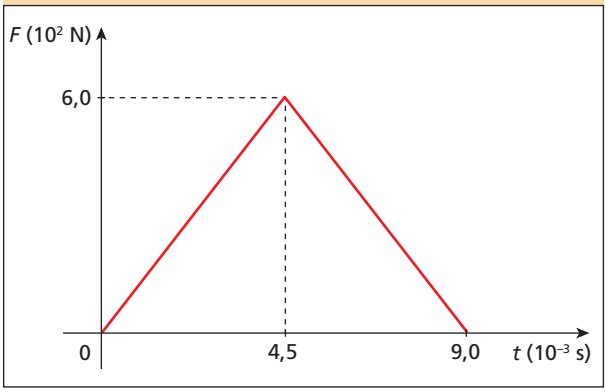


LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de uma bola de tênis lançada horizontalmente: **(A)** ao colidir com uma raquete e **(B)** após a colisão.

De acordo com o gráfico a seguir, que mostra a intensidade da força horizontal que a raquete exerce na bola durante a colisão, verifica-se que as fases de deformação e restituição têm durações iguais ($4{,}5 \cdot 10^{-3}$ s).

Gráfico de $F \times t$



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da intensidade da força (F) em função do tempo (t) para uma força de intensidade variável.

Desprezando o peso da bola durante o breve intervalo de tempo da interação com a raquete, determine:

a. **os instantes de início e término das fases de deformação e restituição da bola, respectivamente;**

b. **a intensidade da velocidade, em km/h, com que a bola deixa a raquete após a colisão.**

Analisar o enunciado

A bola de tênis colide horizontalmente com a raquete e, durante o choque, que dura alguns milissegundos, a raquete aplica uma força na bola, que a faz passar por uma fase de deformação e outra de restituição.

Selecionar as informações relevantes

Para determinar os instantes de início e término das fases de deformação e restituição da bola, basta analisar o gráfico, que mostra a variação da intensidade da força durante o choque. Já a intensidade da velocidade com que a bola deixa a raquete após a colisão pode ser determinada a partir do cálculo da área sob o gráfico.

Aplicar o conceito estudado

a. Com base no gráfico, verifica-se que a fase de deformação tem início em $t_0 = 0$, quando a bola entra em contato com a raquete, e término em $t_1 = 4{,}5 \cdot 10^{-3}$ s, quando a bola para em relação à raquete. A fase de restituição, por sua vez, tem início em $t_1 = 4{,}5 \cdot 10^{-3}$ s e término em $t_2 = 9{,}0 \cdot 10^{-3}$ s, quando a bola retorna, perdendo o contato com a raquete.

b. Inicialmente, é necessário transformar a unidade de medida da velocidade inicial em m/s.

$$v_0 = 90 \text{ km/h} = \frac{90}{3{,}6} \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

Com base no gráfico, pode-se determinar o módulo do impulso da força da raquete sobre a bola no ato da colisão:

$$I \overset{N}{=} A \Rightarrow I = \frac{6{,}0 \cdot 10^2 \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-3}}{2} \therefore I = 2{,}7 \text{ N} \cdot \text{s}$$

Conhecendo os valores da velocidade inicial, em m/s, e do impulso da força, em N · s, é possível aplicar o teorema do impulso, que permite determinar a intensidade da velocidade com que a bola deixa a raquete.

Considerando positivo o sentido da direita para a esquerda e conhecendo os valores do impulso, da massa da bola e da velocidade inicial, tem-se:

$$I = mv - mv_0 \Rightarrow 2{,}7 = 60 \cdot 10^{-3} \cdot [v - (-25)] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 45 = v + 25 \therefore v = 20 \text{ m/s}$$

Por fim, transformando a unidade de medida da velocidade final para km/h:

$$v = 20 \text{ m/s} = 20 \cdot 3{,}6 \text{ km/h} \therefore v = 72 \text{ km/h}$$

Verificar a solução

Como o impacto da bola de tênis com a raquete gera uma deformação, seguida de parcial restituição da bola, parte da energia do movimento é dissipada, causando a diminuição da quantidade de movimento e, consequentemente, da velocidade da bola, que se justifica pelos valores identificados nos cálculos de velocidade inicial e velocidade final.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Um objeto é deslocado sem perda de massa sobre o solo plano e horizontal em movimento retilíneo e uniforme sob a ação de duas forças horizontais: a força motriz e a força de atrito. Agem também nesse objeto seu peso e a força de reação normal do apoio.

a. Nessa situação, a força motriz e a força de atrito têm a mesma intensidade ou intensidades diferentes? Explique.

1. a. A mesma intensidade, pois o objeto está em MRU, em equilíbrio dinâmico.

b. Há variação da quantidade de movimento do objeto? Explique.

1. b. Não, pois a massa e a velocidade vetorial são constantes.

c. É possível afirmar que, nessa situação, o impulso total sobre o objeto é nulo? Por quê?

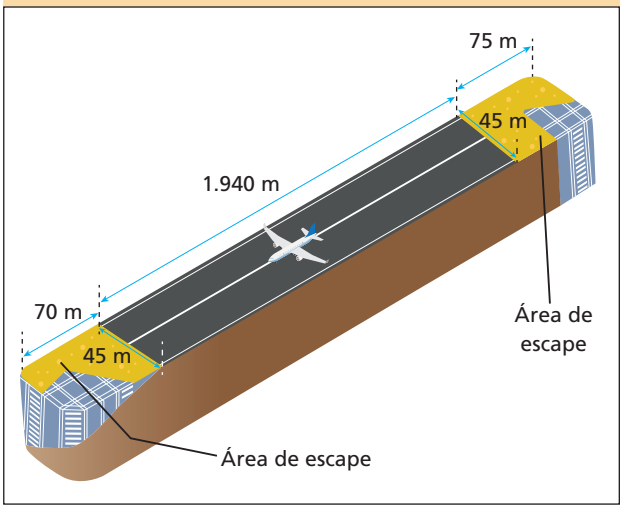
1.c. Sim, porque a variação da quantidade de movimento é nula.

2. Em uma atividade prática para o estudo de colisões em uma aula de Física, um estudante deixa cair de uma altura de 2,0 m dois ovos, *A* e *B*, de massas iguais. O ovo *A* colide contra o solo rígido e se espatifa. O ovo *B* colide contra um monte de folhas de papel amassadas e dispostas no solo; ele não se quebra com a colisão. Considere que os ovos atingem os locais de impacto com velocidades de igual intensidade. Com base nas leis da Física, como você justifica o fato de que o ovo *A* se espatifa e o ovo *B* não se quebra?

2. Como o tempo de colisão do ovo *A* é menor, ele está sob a ação de uma força de maior intensidade ao atingir o solo; como o tempo de colisão do ovo *B* é maior, pois a colisão é amortecida pelas folhas de papel, ele está sob a ação de uma força de menor intensidade ao atingir o solo.

3. Nas extremidades das pistas de pouso e decolagem nos aeroportos, há áreas de escape, projetadas para conter as aeronaves caso elas não consigam parar até o final da pista. A superfície dessas áreas de escape é composta de um material que se deforma devido ao peso da aeronave, dificultando seu avanço. Suponha que um avião de massa igual a 24 toneladas tenha adentrado uma dessas áreas de escape.

Área de escape no Aeroporto de Congonhas



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Congonhas será o primeiro aeroporto da América Latina com sistema EMAS**. Brasília, DF: Ministério da Infraestrutura, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/02/congonhas-sera-o-primeiro-aeroporto-da-america-latina-com-sistema-emas. Acesso em: 15 ago. 2024.

Representação esquemática da área de escape nas cabeceiras da pista principal do Aeroporto de Congonhas, em São Paulo, SP. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Considere que o avião entrou na área de escape com velocidade de 54 km/h, percorrendo uma trajetória retilínea com aceleração constante de sentido contrário ao da velocidade, e parou após um intervalo de tempo de 3,0 s.

a. Determine a distância, em metro, percorrida pela aeronave até parar na área de escape.

b. Calcule a intensidade da força resultante que deteve o avião.

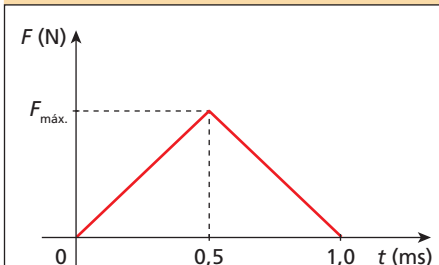
3. a. 22,5 m
3. b. 120 kN

4. Ao chutar uma bola de massa 500 g na cobrança de um pênalti, um jogador desfere um potente chute e a intensidade da força resultante na bola, inicialmente em repouso, varia com o tempo conforme ilustrado no gráfico.

Se, imediatamente após o chute, a bola tem velocidade de módulo 90 km/h, determine, em kN (1 kN = 10^3 N), o valor de $F_{máx.}$ indicado no gráfico.

4. 25 kN

Gráfico de $F \times t$



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da intensidade da força resultante na bola (F) em função do tempo (t).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Conservação da quantidade de movimento

Retomando uma das situações anteriores, na qual um técnico forense analisa a velocidade dos carros durante uma colisão, é muito importante considerar que grandezas são conservadas, isto é, mantêm seu valor fixo durante a colisão. Em uma colisão entre veículos, a energia mecânica não é necessariamente conservada, já que parte dela pode ser utilizada na deformação da lataria e parte é dissipada como ruído e calor. Para identificar uma grandeza que se conserva em uma colisão, vamos fazer o cálculo a seguir, considerando que, no ato da colisão, o sistema é isolado de forças externas, isto é, o impulso total das forças externas é zero.

Pelo teorema do impulso, temos:

$$\vec{I} = \Delta\vec{Q} \Rightarrow \vec{I} = \vec{Q}_{\text{final}} - \vec{Q}_{\text{inicial}} \Rightarrow \vec{F}_R \cdot \Delta t = \vec{Q}_{\text{final}} - \vec{Q}_{\text{inicial}}$$

Em um sistema isolado de forças externas, a resultante dessas forças será nula. Logo, o impulso resultante também será zero.

$$\vec{0} = \vec{Q}_{\text{final}} - \vec{Q}_{\text{inicial}} \Rightarrow \vec{Q}_{\text{inicial}} = \vec{Q}_{\text{final}}$$

Essa expressão traduz o **princípio da conservação da quantidade de movimento**, que pode ser enunciado da seguinte maneira: em um sistema de corpos isolado de forças externas, a quantidade de movimento total se conserva.

Exemplo

Considere a colisão entre um carro de 1.000 kg, com velocidade de módulo 10 m/s, e outro veículo com massa de 1.500 kg, inicialmente em repouso. Após a colisão, eles saíram engatados (juntos). Qual será a intensidade da velocidade após o impacto?

A intensidade da velocidade do conjunto formado pelos dois carros após a colisão pode ser calculada como:

$$Q_{\text{inicial}} = Q_{\text{final}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1.000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s} = (1.000 \text{ kg} + 1.500 \text{ kg}) \cdot v_{\text{final}}$$

$$\therefore \ v_{\text{final}} = 4 \text{ m/s}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. **Registre em seu caderno**

EM FOCO Avanços e recursos em segurança automotiva

O número de veículos em circulação nas vias públicas brasileiras nunca foi tão expressivo. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a frota de automóveis no país ultrapassou 60 milhões em 2022. Essa crescente presença de veículos, especialmente nas metrópoles e em estradas, aumenta a preocupação com o risco de acidentes de trânsito.

Tanto empresas privadas responsáveis pela fabricação de automóveis quanto centros públicos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico direcionam altos valores em investimentos para o desenvolvimento de equipamentos voltados à segurança automotiva, com o objetivo de produzir veículos cada vez mais seguros, capazes de reduzir significativamente os danos causados aos condutores, passageiros e pedestres em casos de acidentes.

Apesar dos aspectos estéticos cada dia mais refinados e personalizados parecerem ser os principais fatores em termos de tecnologia, a segurança automotiva se destaca por sua importância ao proporcionar uma experiência mais segura. À medida que os dispositivos de segurança demonstram sua eficácia no dia a dia, gradualmente, tornam-se itens obrigatórios em todos os veículos fabricados.

Os dispositivos mais básicos, como o cinto de segurança, estão presentes nos automóveis desde a década de 1940. O modelo que conhecemos hoje foi uma evolução tecnológica ocorrida na década de 1950, quando um engenheiro sueco desenvolveu o cinto de três pontos. Esse sistema mantém o passageiro preso à estrutura do veículo, e não apenas ao assento, proporcionando uma proteção mais eficaz.

Nos veículos atuais, os sistemas de cintos de segurança foram aprimorados com recursos como *airbags* e dispositivos pré-tensionadores. Essas tecnologias aumentam a eficiência da proteção, reduzindo o espaço livre do ocupante em caso de colisão. Isso diminui o movimento do corpo para a frente e para trás, reduzindo o risco de lesões cervicais. Uma pesquisa realizada no Japão em 2018 mostrou que veículos equipados com sistemas inteligentes de segurança tiveram 61% menos casos de ferimentos e mortes em acidentes em comparação com veículos desprovidos dessas tecnologias.

Além disso, outras características dos carros, como sua estrutura física, são constantemente aprimoradas. Os veículos mais antigos eram significativamente mais pesados em razão da maior quantidade de aço em sua composição. Atualmente, as peças são fabricadas com diversos materiais, incluindo ligas de aço mais leves e plásticos de alta resistência.

Continua

2. Espera-se que os estudantes reflitam sobre os impactos do aumento da frota de automóveis na vida da população; considerando, por exemplo, o tráfego intenso, o aumento do tempo de deslocamento e o aumento da emissão de gases poluentes.

3. Eles reduzem o espaço livre do ocupante durante a colisão, diminuindo o movimento do corpo.

Continuação

BJDLZX/GETTY IMAGES

Implementação e teste de *airbags* em um carro ainda em fabricação.

Essas mudanças estruturais tornaram os carros mais "flexíveis" e menos rígidos, permitindo que absorvam melhor o impacto e dissipem a energia ao longo da carroceria. Isso reduz significativamente os riscos de mortes e lesões em caso de colisão. Por exemplo, em colisões envolvendo veículos mais leves, a redução da massa é um fator crucial para diminuir a quantidade de movimento do automóvel, o que pode ser determinante para evitar danos maiores em comparação com colisões entre veículos mais pesados, que apresentam riscos mais elevados quando se deslocam com velocidades de intensidades altas.

1. Aproximadamente 0,3 carro por habitante.

1. Considerando os dados do texto e que, em 2022, a população estimada do Brasil era cerca de 203 milhões de habitantes, qual é a média de carros por habitante naquele ano?
2. A relação entre o número de carros por habitante e o aumento da frota de automóveis podem impactar a sustentabilidade das cidades, a qualidade de vida da população e o ambiente? Escreva um pequeno texto para justificar sua resposta, com base em argumentos científicos.
3. De que forma os sistemas de *airbags* e dispositivos pré-tensionadores contribuem para a segurança de condutores e passageiros em casos de acidente?
4. De que forma a redução da massa dos carros diminui os riscos de lesões e mortes no caso de acidentes?

4. A redução da massa é um fator crucial para diminuir a quantidade de movimento do automóvel, o que pode ser determinante para evitar danos maiores em comparação com colisões entre veículos de maior massa.

OBJETO DIGITAL Vídeo: Código de Trânsito Brasileiro

Colisões elásticas e colisões inelásticas

Comentários afirmando que os carros antigos eram mais "fortes" que os atuais são muito comuns. Os para-choques dos carros fabricados no passado, por exemplo, eram totalmente constituídos de metal. Portanto, em colisões de baixa velocidade, um para-choque como esse sofria pequenos danos; hoje em dia, os para-choques modernos se deformam com maior facilidade. No entanto, será que um para-choque mais resistente é o melhor para o motorista e os passageiros em caso de colisão?

A segurança do motorista e dos passageiros é muito mais importante que a preservação de uma peça do veículo, pois, caso haja uma colisão, é fundamental que a força aplicada nos passageiros seja a menos intensa possível.

Colisões são interações em que dois ou mais corpos exercem forças uns sobre os outros em um curto intervalo de tempo; por exemplo, a colisão das bolas em um jogo de bilhar, a colisão entre veículos em um acidente, a colisão entre um corpo e o chão, entre outras situações.

As colisões podem ser classificadas por um número adimensional conhecido como **coeficiente de restituição (*e*)**, que pode ser definido de acordo com os módulos das velocidades escalares relativas de afastamento e de aproximação entre os corpos.

$$e = \frac{\text{módulo da velocidade escalar relativa de afastamento}}{\text{módulo da velocidade escalar relativa de aproximação}}$$

ERMESS/SHUTTERSTOCK

DARTHART/ISTOCK EDITORIAL/GETTY IMAGES

(A) Para-choque de metal em um carro de 1973.
(B) Para-choque de material plástico em um carro de 2017.

Se os carros se movimentam no mesmo sentido, o módulo da velocidade escalar relativa é dado pela diferença dos módulos das velocidades escalares. Já se os carros se movimentam em sentidos opostos, o módulo da velocidade escalar relativa é dado pela soma dos módulos das velocidades escalares.

Comente com os estudantes que o coeficiente de restituição de um objeto batendo sobre outro objeto estacionário, como o chão, é:

$$e = \frac{\text{módulo da velocidade escalar após o impacto}}{\text{módulo da velocidade escalar antes do impacto}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

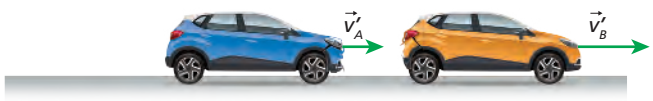
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A

Antes da colisão

B

Depois da colisão



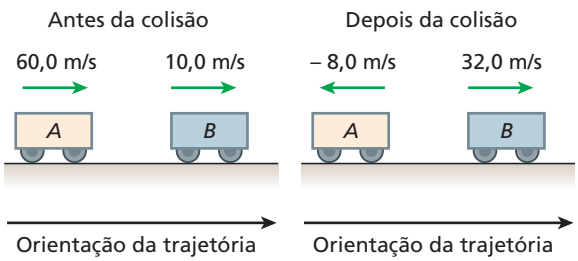
Representação da colisão de dois veículos que se movimentam no mesmo sentido, antes e depois da colisão. **(A)** Antes da colisão, os carros se aproximam; **(B)** após a colisão, eles se afastam. (Imagem sem escala.)

Para a situação representada, tem-se:

$$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B}$$

Exemplo

Considere uma situação, envolvendo valores numéricos, em que dois vagonetes idealizados colidem em um trilho reto e horizontal. Antes da colisão, os veículos se aproximam com velocidades de intensidades 60,0 m/s e 10,0 m/s; após a colisão, eles se afastam com velocidades de intensidades 8,0 m/s e 32,0 m/s. Nessa situação, qual é o coeficiente de restituição *e*?



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da colisão de dois vagonetes fictícios. (Imagem sem escala.)

O módulo da velocidade escalar relativa de aproximação é dado por:

$$|v_{\text{relativa}_{\text{aprox.}}}| = 60{,}0\ \text{m/s} - 10{,}0\ \text{m/s}$$

$$\therefore\ |v_{\text{relativa}_{\text{aprox.}}}| = 50{,}0\ \text{m/s}$$

O módulo da velocidade escalar relativa de afastamento é dado por:

$$|v_{\text{relativa}_{\text{afast.}}}| = 32{,}0\ \text{m/s} + 8{,}0\ \text{m/s}$$

$$\therefore\ |v_{\text{relativa}_{\text{afast.}}}| = 40{,}0\ \text{m/s}$$

Logo:

$$e = \frac{|v_{\text{relativa}_{\text{afast.}}}|}{|v_{\text{relativa}_{\text{aprox.}}}|} = \frac{40{,}0}{50{,}0} \therefore\ e = 0{,}8$$

- Se $e = 1$, a colisão é **perfeitamente elástica**, ou simplesmente elástica, isto é, o módulo da velocidade escalar relativa de afastamento é igual ao módulo da velocidade escalar relativa de aproximação. Nesse caso, além de ocorrer conservação da quantidade de movimento no ato da colisão, ocorre conservação de energia mecânica.
- Se $e = 0$, a colisão é **perfeitamente inelástica**, ou totalmente inelástica, isto é, a velocidade escalar relativa de afastamento é nula e os corpos permanecem unidos após a colisão. Nesse caso, ocorre dissipação de energia mecânica e a energia cinética final do sistema é menor que a inicial.
- Se $0 < e < 1$, a colisão é **parcialmente elástica**, ou parcialmente inelástica, isto é, o módulo da velocidade escalar relativa de afastamento é menor que o módulo da velocidade escalar relativa de aproximação. Nesse caso, também ocorre dissipação de energia mecânica e a energia cinética final do sistema é menor que a inicial.

Exemplo

Dois veículos com massas iguais colidem. Um deles (carro *A*) está se movimentando com velocidade de módulo *v* e se aproximando de outro carro (carro *B*), inicialmente parado. Compare as intensidades das velocidades finais dos veículos (v') e as energias dissipadas nos casos de colisão perfeitamente inelástica e colisão perfeitamente elástica.

Para uma colisão perfeitamente inelástica, temos:

$$Q_{\text{inicial}} = Q_{\text{final}} \Rightarrow m \cdot v = 2m \cdot v' \Rightarrow v' = \frac{v}{2}$$

Para uma colisão perfeitamente elástica, temos:

$$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow 1 = \frac{v'_B - v'_A}{v} \Rightarrow v'_B - v'_A = v$$

Pela conservação da quantidade de movimento do sistema:

$$Q_{\text{inicial}} = Q_{\text{final}} \Rightarrow m \cdot v = m \cdot v'_A + m \cdot v'_B$$

Resolvendo o sistema, temos:

$$v'_A = 0 \text{ e } v'_B = v$$

Note que, no caso de uma colisão perfeitamente elástica que envolve objetos com massas iguais, ocorre troca de velocidades.

Na colisão perfeitamente inelástica, a variação da velocidade é menor; logo, o impacto no motorista e nos passageiros desse carro será menor. Nesse tipo de colisão, parte da energia é utilizada para deformar os corpos e essa energia não é restituída, então a energia dissipada é sempre maior. Essa forma de colisão gera um impulso menor, logo, o impacto é menor, reduzindo os danos causados em quem estiver dentro do carro. Por isso, os para-choques de plástico são mais seguros do que os de metal, que são mais rígidos. A capacidade de absorver maior quantidade de energia faz com que o impacto transmitido aos ocupantes seja menor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Protegendo o passageiro

Ao projetar um veículo, engenheiros não consideram somente a beleza exterior ou a intensidade da velocidade máxima que ele poderá atingir. Uma das mais importantes características que um veículo deve ter é a segurança. Por exemplo, a cabine é cuidadosamente projetada para proteger os passageiros em caso de acidentes, como colisões. Portanto, um passo fundamental no processo de construção de um veículo é desenvolver um projeto em que a cabine ofereça máxima segurança aos passageiros.

Nesta prática, vamos projetar a cabine de um veículo que sofrerá uma queda. Dentro desse veículo, haverá um passageiro, que pode ser representado por uma casca de ovo com água dentro ou um salgadinho fino, frágil o suficiente para que quebre ao cair em condições normais. A escolha fica a critério da turma.

OBJETIVO

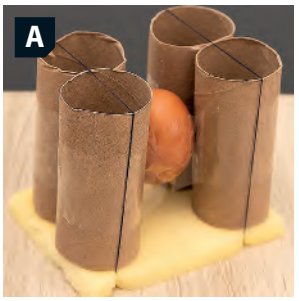
Projetar a representação de um veículo que sofrerá uma queda, escolhendo os materiais e o *design* mais adequados para que o passageiro sofra o menor dano possível.

MATERIAIS

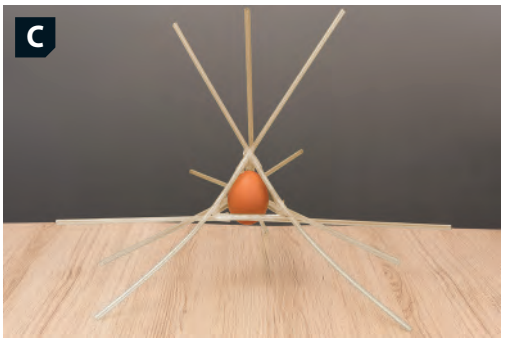
- Cartolina, papelão e rolos vazios de papel higiênico.
- Recipientes plásticos vazios de manteiga ou maionese.
- Canudos de papel.
- Esponja.
- Linha de costura ou barbante.
- Cola.
- Fita adesiva.
- Tesoura com pontas arredondadas.
- Trena ou fita métrica.
- Câmera ou celular que permita gravar vídeos.
- Papel e lápis para o registro dos dados ou computador com um aplicativo de planilha eletrônica instalado.

PROCEDIMENTO

- Formem grupos e preparem o "passageiro" que sofrerá a queda dentro da cabine. Caso utilizem um ovo, retirem a gema e a clara fazendo um furinho na casca. Preencham o ovo com água e fechem o furinho com fita adesiva. Se tiverem uma balança, meçam a massa do ovo preenchido com água. Caso não a tenham, estimem a massa do ovo considerando que cada mL de água possui 1 g de massa.
- Construam a cabine do veículo para proteger o "passageiro" escolhido. Ela pode ser feita de cartolina, papelão, rolos vazios de papel higiênico, recipientes vazios de manteiga ou maionese, canudos de papel e fita adesiva. O "passageiro", depois de preso dentro do veículo, deve permanecer visível. Nas figuras a seguir, são dadas algumas sugestões de cabines.



FOTOS: JUNIOR ROZZO/ARQUIVO DA EDITORA



Possíveis cabines do veículo que vai despencar e que poderão alojar o passageiro (ovo cheio de água). Para construir a cabine, em **(A)** foram utilizados rolos de papel higiênico vazios; em **(B)**, uma embalagem de maionese com pedaços de esponja acomodando o ovo; e, em **(C)**, canudinhos.

Cuidado ao manusear a tesoura para evitar ferimentos.
Descarte as aparas de linha, barbante e fita adesiva no lixo comum. O restante do material pode ser limpo e guardado para futuro reaproveitamento.

É recomendável que você, professor, seja o responsável por fazer os cortes com a tesoura para construir a cabine.

- Marquem em uma parede a altura de 1 m e façam subdivisões de 5 cm em 5 cm. Essas marcas devem ser visíveis no vídeo que será gravado.
- Nas configurações do aplicativo da câmera ou do celular, confiram a taxa de gravação em fps (*frames per second*, em inglês; ou quadros por segundo, em português): quanto maior for esse valor, melhor será a precisão das informações que serão obtidas do vídeo. Além disso, lembrem-se de deixar a qualidade do vídeo alta e o ambiente bem iluminado.
- Soltem o veículo com o "passageiro" preso em seu interior a partir da altura de 1 m, alinhado com a marcação feita na parede, e registrem a queda em vídeo (com a maior taxa fps permitida pelo aplicativo e sem mover a câmera ou o celular durante a gravação).
- Após a queda, fotografem o "passageiro" e a cabine e registrem o estado deles. Anotem observações relativas a quebras, rachaduras etc.
- Se for necessário, transfiram o vídeo para um computador com a intenção de obter a reprodução dele com uma precisão de, pelo menos, 0,01 segundo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para verificar se os estudantes estão familiarizados com os principais conceitos envolvidos na realização da atividade, promova uma breve discussão prévia, fazendo perguntas do tipo: "Como podemos caracterizar uma colisão? O que é o coeficiente de restituição? Qual é a diferença entre a colisão elástica e a colisão perfeitamente inelástica?". Nesse momento, pode ser importante retomar com os estudantes a fórmula da densidade: $d = \frac{m}{V}$

Continua

Continuação

- Anotem o tempo informado no vídeo do "passageiro" durante a queda. Façam a anotação do tempo cada vez que o "passageiro" passar por uma marcação de 5 cm.
- Com os valores anotados, montem uma planilha eletrônica e criem uma coluna do lado esquerdo com os valores de tempo e, ao lado dessa coluna, anotem as respectivas posições do "passageiro". Na primeira linha, coloquem o valor zero e, na linha seguinte, acrescentem os valores anotados. Por exemplo, se o "passageiro" começou a cair da posição $s = 0{,}00$ m no tempo $t_0 = 0{,}00$ s, o próximo valor deverá ser de 0,05 m com o tempo correspondente verificado na gravação.
- Ainda usando o programa, façam um gráfico de dispersão da ordenada (y) em função do tempo.
- Ajustem uma "linha de tendência" aos pontos do gráfico, escolhendo o modo polinômio de grau 2. Anotem a equação fornecida.
- Por fim, com base nos dados da planilha, calculem a velocidade máxima antes de o veículo tocar no solo e a velocidade com que ele se afastou do solo, caso o retorno tenha ocorrido.

1. Com a equação obtida pela linha de tendência, é possível determinar o valor da aceleração de queda. Determinem-no e comparem-no com o valor da aceleração da gravidade. Justifiquem possíveis divergências.
2. A velocidade final da queda pode ser calculada utilizando o valor da aceleração obtido no item 1 e o tempo obtido na planilha, assim como utilizando valores da altura antes da colisão. Calculem a velocidade usando esses dois métodos e comparem os resultados.
3. Classifiquem a colisão em elástica, totalmente inelástica ou parcialmente elástica.
4. Calculem o módulo da quantidade de movimento anterior à colisão e, caso seu passageiro tenha retornado do solo ("quicando") após a primeira colisão, calculem o módulo da quantidade de movimento após a colisão. Calculem também o módulo do impulso.
5. Comparem as diversas colisões analisando a deformação permanente do veículo, o coeficiente de restituição e a quantidade total de danos ao passageiro. Procurem estabelecer uma relação entre essas características.
6. O aparato experimental montado foi adequado para as medições realizadas? Se não, o que sugerem para melhorar o experimento?
7. Façam um resumo dos resultados e comparem suas conclusões com as dos outros grupos, seguindo a orientação do professor.

Fique por dentro

Laboratório de colisões

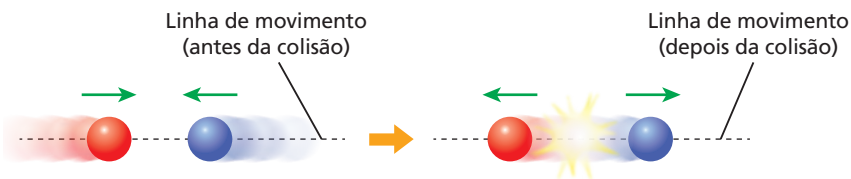
PHET Physics Education Technology. **Laboratório de colisões**. Universidade de Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/collision-lab/latest/collision-lab_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 15 ago. 2024.

O simulador permite a análise de diversos tipos de colisão, em que podem ser definidas as massas e as velocidades das partículas que vão colidir.

Colisões frontais e colisões oblíquas

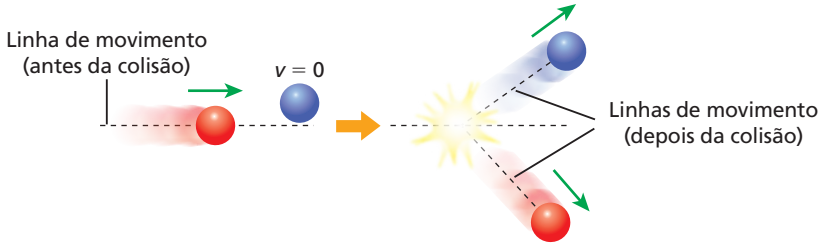
Outra forma de classificar as colisões é de acordo com a direção das forças de impacto e a velocidade que os corpos adquirem após a colisão.

- Quando a linha de movimento dos corpos, antes e depois da colisão, é a mesma, temos uma **colisão frontal**.



Representação esquemática de uma colisão frontal. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- Quando a linha de movimento dos corpos, antes e depois da colisão, é diferente, temos uma **colisão oblíqua**.



Representação esquemática de uma colisão oblíqua. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. Um astronauta em repouso fora da espaçonave, sem amarras ou qualquer sistema propulsor acionado, arremessa uma ferramenta com velocidade de módulo 24,0 m/s.

NASA

Astronauta estadunidense Bruce McCandless II em órbita da Terra a poucos metros da cabine do ônibus espacial Challenger (1984).

Se a massa da ferramenta for igual a 2,0 kg e a massa do astronauta com seus equipamentos for aproximadamente 200,0 kg, qual será a intensidade da velocidade do astronauta imediatamente após o arremesso da ferramenta? 5. 0,24 m/s

6. Explique o que é o coeficiente de restituição (*e*) e como seus valores podem ser utilizados para distinguir os diferentes tipos de colisão. 6. O coeficiente de restituição é um valor numérico associado ao tipo de colisão ($e = 1$, colisão perfeitamente elástica; $e = 0$, colisão perfeitamente inelástica; $0 < e < 1$, colisão parcialmente elástica).

7. (Fuvest-SP)

Na colisão descrita no quadrinho, podemos afirmar que 7. Alternativa **c**.

a. a energia cinética do sistema se conserva.

b. o momento do sistema não se conserva.

c. a velocidade relativa final entre os corpos é menor que a inicial.

d. a energia cinética final é maior que a inicial.

e. a gravidade define se uma colisão será elástica ou inelástica.

8. Arthur se considera um ótimo jogador de sinuca e, para impressionar seus colegas, concentra-se por bastante tempo planejando uma tacada. Em certo instante, ele dispara a bola branca contra uma bola vermelha inicialmente parada. Com isso, depois de bater "de casquinha" contra a bola vermelha, a bola branca modifica a direção de seu movimento e a bola vermelha acaba caindo em uma das caçapas da mesa.

a. A colisão descrita é frontal ou oblíqua? Justifique sua resposta.

b. Nessa colisão, a quantidade de movimento total do sistema é conservada? E a energia mecânica total? 8. a. Colisão oblíqua.
8. b. A quantidade de movimento total do sistema é conservada e a energia mecânica total, não.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Suponha que um aviãozinho de papel, de massa 3,0 g, seja submetido a uma força horizontal constante, de intensidade igual a $8{,}0 \cdot 10^{-1}$ N, aplicada por uma pessoa durante $2{,}0 \cdot 10^{-1}$ s.
Admitindo que a força de resistência do ar durante o lançamento também é horizontal, com intensidade constante igual a $2{,}0 \cdot 10^{-1}$ N, e que o aviãozinho parte do repouso, determine: 1. a. $1{,}2 \cdot 10^{-1}$ N · s; 1. b. 40,0 m/s

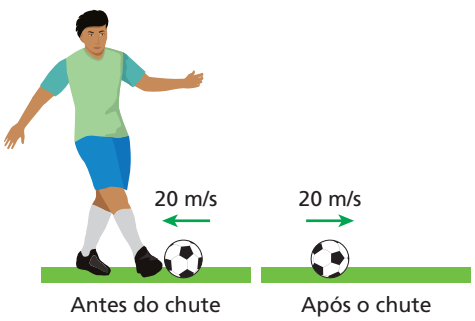
a. a intensidade I do impulso resultante comunicado ao dispositivo no ato de seu lançamento;

b. o módulo v da velocidade do aviãozinho ao deixar a mão da pessoa.

2. Considere um avião comercial, com massa de 60 toneladas, pousando em uma pista retilínea e horizontal. No instante do início do pouso, ele tem velocidade horizontal de intensidade 180 km/h e velocidade vertical de intensidade 36 km/h. Após o toque simultâneo dos dois trens de pouso principais contra o solo, o avião passa a ter velocidade vertical nula em 0,10 s, antes que o trem de pouso do nariz toque o solo. Considerando que o peso do avião esteja igualmente distribuído entre os dois trens de pouso principais e adotando $g = 10\ m/s^2$, determine a intensidade da força vertical de impacto que a pista recebe de cada trem de pouso principal durante o 0,10 s correspondente à imobilização vertical da aeronave. 2. $3{,}3 \cdot 10^6$ N · s

3. (Uenp-PR) Em 2022, foi realizada a Copa do Mundo FIFA no Catar, em que 32 equipes se enfrentaram, neste que é o mais famoso campeonato de futebol. Quando um jogador chuta uma bola, o pé do jogador e a bola produzem uma força de interação mútua, muito intensa, e que atua num intervalo de tempo pequeno. Considere um jogador que, após o chute, devolve uma bola na mesma direção e com velocidade de mesmo módulo que ela atingiu seu pé, conforme mostra a figura a seguir.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

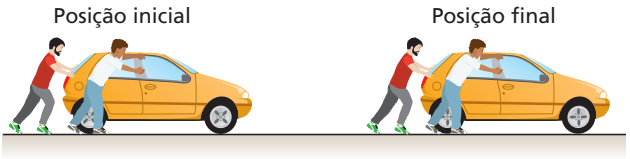


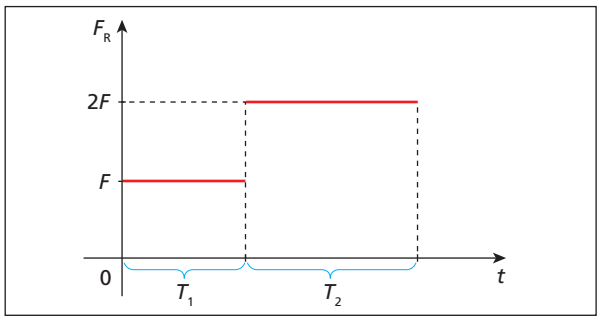
Se a massa da bola é de 400 g, sua velocidade tem módulo de 20 m/s e a duração do impacto é de 0,20 s, assinale a alternativa correta que mostra a intensidade da força média que o pé do jogador imprime à bola durante o chute. 3. Alternativa **d**.

a. 3,2 N **c.** 40 N **e.** 160 N

b. 16 N **d.** 80 N

4. (Unesp-SP) Dois amigos reuniram-se para empurrar um veículo de massa M, em linha reta, a partir do repouso, sobre uma superfície plana e horizontal. Entre as posições inicial e final, atuou sobre o veículo uma força resultante (F_R) que variou em função do tempo, em dois intervalos T_1 e T_2, conforme o gráfico.





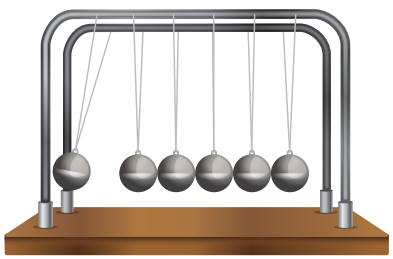
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

No final do intervalo de tempo $T_1 + T_2$, a velocidade escalar adquirida pelo veículo foi de: 4. Alternativa **b**.

a. $\frac{F(T_1 + T_2)}{M}$ **c.** $\frac{F(T_1 + T_2)}{2M}$ **e.** $\frac{F(3T_1 + T_2)}{2M}$

b. $\frac{F(T_1 + 2T_2)}{M}$ **d.** $\frac{F(2T_1 + T_2)}{M}$

5. O pêndulo de Newton consiste em um conjunto de esferas idênticas, suspensas por finos fios de náilon de massas desprezíveis amarrados, um a um, em uma estrutura fixa.



Pêndulo de Newton.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Elevando e soltando o pêndulo de uma das extremidades, nota-se que o pêndulo da extremidade oposta se eleva em seguida, alcançando praticamente a mesma altura de onde foi solto o primeiro pêndulo. Considerando que todas as colisões são unidimensionais, instantâneas e perfeitamente elásticas e desconsiderando quaisquer efeitos dissipadores da energia mecânica do sistema, é incorreto afirmar que: 5. Alternativa **d**.

a. a quantidade de movimento total das esferas permanece constante.

b. a energia mecânica total das esferas permanece constante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

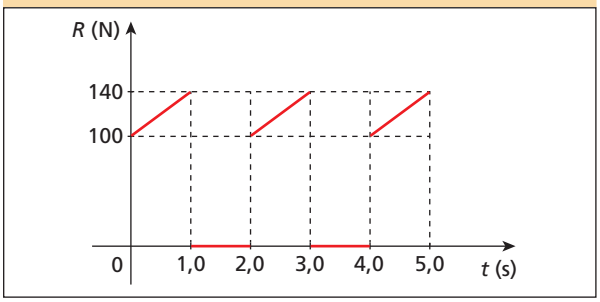
c. se forem soltas duas esferas de um lado, se elevarão duas esferas do lado oposto.

d. se forem soltas duas esferas de um lado, se elevarão três esferas do lado oposto.

e. ao utilizar um pêndulo de Newton ideal para realizar colisões, como foi descrito, este ficará funcionando indefinidamente.

6. Para impulsionar seu *skate* em linha reta, partindo do repouso e em um plano horizontal, um esqueitista mantém seu pé direito sobre a prancha e, com o pé esquerdo, empurra três vezes o solo para trás. O gráfico a seguir representa a variação da intensidade da força de atrito resultante (R) que o conjunto jovem-*skate* recebe do chão em função do tempo nesse processo.

Gráfico de $R \times t$ para uma força variável



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da intensidade da força de atrito resultante (R) em função do tempo (t).

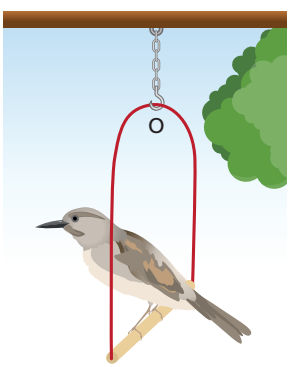
Sabendo que a massa do conjunto jovem-*skate* é de 60 kg e desprezando o efeito do ar, determine a intensidade da velocidade do conjunto jovem-*skate* ao fim do terceiro impulso.

6. 6,0 m/s

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um jovem andando de *skate*.

7. (Fuvest-SP) Um passarinho de 40 g está em repouso sobre um poleiro de massa 80 g. O poleiro é sustentado por um suporte de massa desprezível e pode oscilar em torno do ponto *O*. Após certo instante, o passarinho abandona o poleiro, iniciando seu voo horizontalmente, de modo que o poleiro é empurrado para trás, subindo 5 cm em relação à sua posição inicial. Despreze o efeito do ar e adote $g = 10\ m/s^2$.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

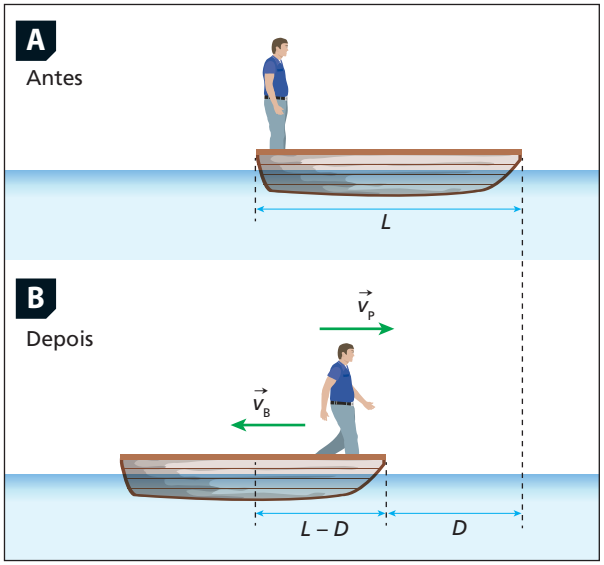
Ao abandonar o poleiro, a velocidade do passarinho é de:

a. 1,0 m/s **c.** 3,0 m/s **e.** 5,0 m/s

b. 2,0 m/s **d.** 4,0 m/s

7. Alternativa **b**.

8. Um pescador de massa M está em repouso junto à popa de um bote, o qual possui um comprimento de $L = 4{,}0$ m e massa $3M$, também em repouso em relação às margens de um lago de águas tranquilas. Desconsidere os atritos entre o casco do bote e a água, bem como quaisquer efeitos do ar.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um pescador em duas situações distintas: **(A)** em repouso junto à popa de um bote; **(B)** em movimento em direção à proa do bote com velocidade $\vec{v}_P$. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em certo instante, o pescador se move em direção à proa do bote com velocidade $\vec{v}_P$ em relação às margens do lago, enquanto o bote se move em sentido oposto com velocidade $\vec{v}_B$ em relação ao mesmo referencial. Quando o pescador atinge a proa do bote e para, o bote também para.

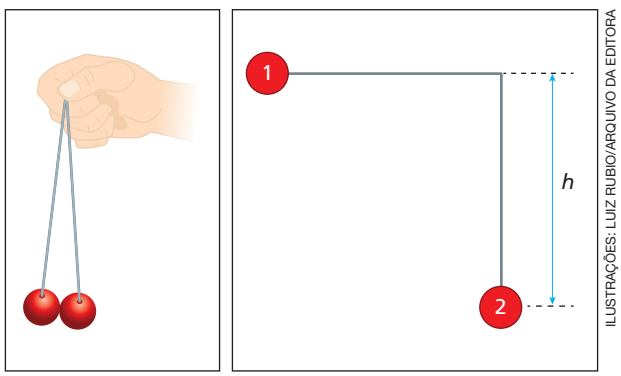
8. a. Com base no princípio da conservação da quantidade de movimento.

a. Utilizando argumentos científicos, explique por que, quando o pescador atinge a proa do bote e para, a embarcação também para.

b. Calcule o deslocamento D sofrido pela proa do bote.

8. b. 1,0 m

9. (Fuvest-SP) Um tradicional brinquedo infantil, conhecido como bate-bate, é composto por duas esferas (bolinhas) de massas iguais conectadas cada qual por uma corda e amarradas num ponto comum. Desloca-se a bolinha 1 de uma altura h, conforme ilustrado no arranjo:



ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

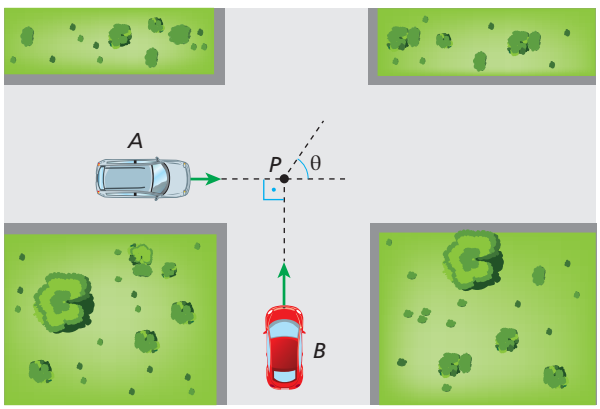
Ao soltar a esfera 1, ela colidirá com a bolinha 2, inicialmente em repouso. Supondo que a colisão seja perfeitamente elástica, verifica-se que, após a colisão, a esfera 2 subirá para a mesma altura h. Imagine agora que uma pequena goma colante seja colocada numa das esferas de modo que, após a colisão, ambas permaneçam unidas. Neste caso, após a colisão, a altura alcançada pelo sistema formado pelas duas bolinhas unidas será: 9. Alternativa **b**.

a. $\frac{h}{8}$ **b.** $\frac{h}{4}$ **c.** $\frac{h}{3}$ **d.** $\frac{h}{2}$ **e.** h

Note e adote: desconsiderar a massa da goma.

10. (Med. ABC-SP) Dois automóveis, A e B, de mesma massa, movem-se por ruas planas, horizontais e perpendiculares entre si, com velocidades escalares $v_A = 9{,}0$ m/s e $v_B = 12{,}0$ m/s, e colidem no ponto P, no cruzamento entre essas duas ruas. Como as carrocerias desses automóveis foram projetadas para se deformar e absorver energia em caso de acidente, esses carros permanecem juntos após a colisão, movendo-se em uma direção indicada pelo ângulo θ, conforme a figura.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



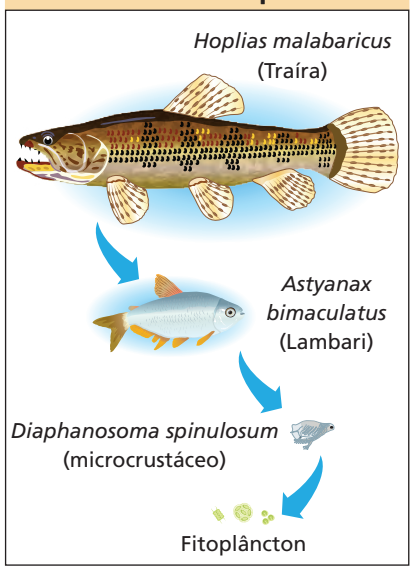
Desconsiderando-se as dimensões dos veículos, a velocidade escalar com que esses automóveis se movem juntos, imediatamente após a colisão, é de 10. Alternativa **e**.

a. 1,0 m/s
b. 2,5 m/s
c. 3,0 m/s
d. 5,0 m/s
e. 7,5 m/s

11. Uma cadeia alimentar, também chamada de cadeia trófica, pode ser definida como uma sequência linear da transferência de matéria e energia em um ecossistema, na qual há uma sucessão de organismos servindo de alimento para outros. Um exemplo disso acontece em rios, lagos e mares, onde plânctons servem de nutriente para crustáceos, que servem de alimento para peixes, que são comidos por peixes maiores, que servem de alimento para o ser humano e outros animais.

Cadeia alimentar em um ecossistema aquático

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em CAIN, M. L. *et al*. **Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018.

Representação esquemática de uma cadeia alimentar hipotética em um ecossistema aquático. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Considere a situação em que um peixe A, de massa 9,0 kg, nadando horizontalmente com velocidade de intensidade 60,0 cm/s, devora instantaneamente um peixe B, de massa 1,0 kg, que nadava com velocidade de 20,0 cm/s sobre a mesma reta, mas em sentido oposto. Com base nessas informações, determine:

a. a intensidade da velocidade do conjunto logo após a ingestão do peixe B pelo peixe A; 11. a. 52 cm/s

b. a relação entre a energia cinética final dos peixes e a energia cinética inicial. 11. b. ≃ 82%

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!**, na abertura desta unidade, e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades EM13CO20, EM13CO21 e EM13CO22 da Computação, além das habilidades EM13CNT302 e EM13CNT303.

Registre em seu caderno

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Comunicação e divulgação de conhecimento científico

A comunicação e a divulgação de conhecimentos científicos são essenciais para o desenvolvimento das atividades científicas.

Quando falamos em comunicação científica, nos referimos, em geral, às práticas desenvolvidas pela comunidade científica para comunicar pesquisas e seus resultados, por meio de artigos científicos, livros e outros tipos de publicações acadêmicas, por exemplo, para o público dessa comunidade. Ela é fundamental para que informações e propostas relacionadas às pesquisas sejam difundidas e validadas por outros pesquisadores da área.

Já a divulgação científica tem como objetivo democratizar o acesso ao conhecimento científico e popularizar a Ciência. Ela estabelece condições para promover a inclusão de um público mais amplo em debates sobre temas especializados que impactam o cotidiano. A divulgação científica pode ser feita por pesquisadores, professores, jornalistas e outros profissionais com conhecimento específico e competências que lhes permitem tornar o conhecimento científico acessível para não especialistas, promovendo o diálogo entre o meio científico e a sociedade.

A divulgação científica se dá por meio de diferentes tipos de mídia, impressa ou digital, como jornais, revistas, televisão, rádio, redes sociais, *blogs* e *podcasts*, e pode se apresentar em diversos formatos: textos, vídeos, áudios, infográficos, gráficos, tabelas, jogos e documentários, por exemplo. As temáticas abordadas frequentemente se relacionam com assuntos de impacto concreto na sociedade, como as relações entre ambiente e sustentabilidade, temas que estão em destaque atualmente no contexto das mudanças climáticas.

Em grupo com dois colegas, conversem sobre os tipos de mídia que vocês conhecem que promovem a divulgação científica e sobre o impacto desse tipo de conteúdo em suas vidas. As questões a seguir podem ajudar nessa reflexão.

1. Que tipo de impacto as informações difundidas por textos ou vídeos de divulgação científica podem ter na vida das pessoas?
2. Conteúdos de comunicação científica e de divulgação científica são publicados na mesma linguagem? Em sua opinião, como a linguagem pode afetar a compreensão de informações científicas?
3. Elementos visuais, como gráficos, ilustrações e fotografias, podem ajudar o leitor a compreender dados científicos e a relacionar informações científicas com seu cotidiano?
4. Quais são os principais desafios na divulgação da Ciência para o público não especializado?
5. Toda informação relacionada à Ciência publicada em diferentes mídias é confiável e pode ser considerada divulgação científica?

Ampliação de repertório

Depois dessa reflexão inicial, é hora de aprofundar as discussões com seus colegas de grupo por meio da análise de materiais de divulgação científica em diversos formatos. Pesquisem alguns textos, vídeos, áudios ou infográficos produzidos para divulgar diferentes temas científicos – como a mudança global do clima ou a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis e sua importância para o desenvolvimento sustentável – publicados em diferentes mídias, como revistas, jornais, *blogs*, redes sociais, *sites* de universidades e de órgãos governamentais. Identifiquem os elementos que caracterizam um material de divulgação científica, os padrões comuns (em termos de estrutura, linguagem, contextualização e apresentação de dados). O que esses textos, vídeos, áudios e infográficos têm em comum? Qual é o tipo de linguagem adotada? Ela é objetiva, coloquial ou impessoal, expressa opinião, contém gírias ou gera ambiguidade? Que tipos de dados são apresentados e de onde eles foram retirados? As fontes dos dados e das informações científicas são citadas? Os elementos visuais (gráficos, fotografias etc.) ajudam a comunicar algo? Qual é a relevância do tema abordado para a sociedade?

Pesquisem também textos em livros de Ciências ou artigos científicos publicados em revistas acadêmicas de comunicação científica. Como a linguagem adotada nesses textos difere daquela usada em textos de divulgação científica?

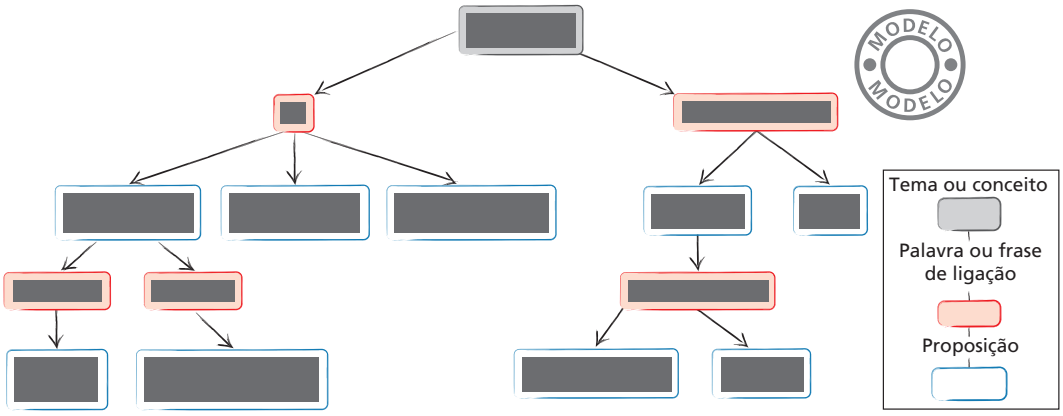
Lembrem-se de utilizar apenas informações veiculadas por fontes confiáveis em todas as etapas de pesquisa.

Para facilitar a etapa seguinte, utilizando papel e canetas coloridas ou uma ferramenta digital de edição

Essa etapa possibilita o trabalho interdisciplinar com Língua Portuguesa, desenvolvendo as habilidades EF69LP29 e EF69LP42, ao propor a reflexão sobre o contexto de produção de textos de divulgação científica, sua composição e linguagem características, além de analisar diferentes tipos de mídia por meio das quais ocorre a divulgação científica e os diferentes formatos em que ela pode ser apresentada. A elaboração de um mapa conceitual para descrever a estrutura comum de textos de divulgação científica e para planejar a produção de um texto próprio favorece o desenvolvimento das habilidades EF69LP34 e EF69LP35.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

de texto ou desenho, elaborem um mapa conceitual com os padrões identificados, descrevendo a estrutura comum de materiais de divulgação científica. O mapa conceitual é uma forma de representar graficamente a relação entre conceitos; nele, são identificados os conceitos-chave sobre o tema, organizados de acordo com sua hierarquia e relacionados entre si por meio de setas. O mapa elaborado por vocês pode ser utilizado para planejar a produção de um texto de divulgação científica próprio.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação da estrutura de um mapa conceitual.

Produção de conteúdo

Agora que vocês já refletiram sobre o papel e a importância da divulgação científica e identificaram os principais elementos dos materiais desse tipo, considerem a proposta a seguir para aplicar esse conhecimento e contribuir com a divulgação de informações científicas de interesse da comunidade local.

Elaborem um texto de divulgação científica sobre um tema de interesse da comunidade local. O mapa conceitual construído anteriormente pode auxiliar no planejamento da produção desse texto. Comecem pela escolha de um tema científico relevante para o público-alvo – nesse caso, a comunidade local, moradores do bairro ou do município. Pode ser um tema que aborde questões relacionadas ao ambiente e à sustentabilidade, como o consumo de energia elétrica, a gestão de resíduos sólidos, entre outras questões que impactam o bairro ou o município. Se necessário, conversem com colegas, vizinhos e familiares para identificar temas de interesse da comunidade.

Façam a contextualização do tema e discutam os conceitos científicos relacionados, sempre buscando fontes confiáveis para as informações e os dados científicos, como órgãos governamentais, institutos de pesquisa, artigos acadêmicos e livros de Ciências. É importante que o texto seja objetivo, imparcial e sem ambiguidades, além de apresentar os conceitos científicos em uma linguagem acessível ao público, mas tomando cuidado com imprecisões conceituais.

O texto pode ser produzido no formato digital ou impresso e distribuído para a comunidade ou divulgado no *site* ou nas redes sociais da escola.

Essa etapa possibilita o trabalho interdisciplinar com Língua Portuguesa, desenvolvendo a habilidade EF69LP36, ao propor a produção de um texto de divulgação científica, considerando o contexto de produção, o público-alvo e a linguagem mais adequada.

Autoavaliação

Este espaço é destinado para reconhecer seus pontos fortes e as oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

- Reconhecer as características de um material de divulgação científica, sua função e a importância da linguagem científica nesse tipo de material.
- Identificar padrões e características específicas em textos de divulgação científica.
- Avaliar a relevância das temáticas para a comunidade em relação aos contextos social e ambiental.
- Elaborar e divulgar um texto de divulgação científica utilizando uma linguagem acessível, objetiva, apropriada ao público-alvo definido e expressando domínio conceitual.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 3

ÁGUA E ALIMENTOS

Se possível, consulte as aberturas das unidades 3 dos volumes de Biologia e de Química, faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza, discutindo a importância da água como recurso hídrico, seu papel na produção de alimentos e o impacto de sua escassez na segurança alimentar.

NASA/UPI/NEWSCOM/FOTOARENA

Planta zínia (*Zinnia*) flutuando em laboratório de pesquisa de estudos de Ciências da Terra na Estação Espacial Internacional (EEI) (2016).

ODS 2

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

Em regiões do planeta Terra com disponibilidade de água restrita, como as regiões gravemente afetadas pelas mudanças climáticas nos últimos anos, o desenvolvimento de novas técnicas de cultivo é fundamental para garantir a segurança alimentar. Na Estação Espacial Internacional (EEI), um dos satélites artificiais que orbitam a Terra, projetos de agricultura espacial vêm sendo desenvolvidos. Experimentos no sistema de produção de vegetais da EEI possibilitam que os cientistas estudem o cultivo de alimentos em órbita, que pode ser útil não só em possíveis viagens tripuladas para a Lua e para Marte no futuro, mas também no desenvolvimento de novas técnicas de produção de alimentos na Terra, em condições de disponibilidade de água restritas.

Nesta unidade, estudaremos o movimento orbital de satélites e as características das trajetórias de satélites e de outros corpos no espaço, bem como as máquinas simples e as condições de equilíbrio, as leis fundamentais da hidrostática – área da Física que estuda o comportamento de fluidos como a água em condições de equilíbrio – e os processos de transmissão de calor e mudanças de estado físico, conceitos importantes para a compreensão do ciclo da água no planeta Terra.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Diversos satélites artificiais na órbita da Terra coletam dados sobre a superfície do planeta e o clima, monitorando áreas ambientais e agrícolas. Você sabe como esses satélites se mantêm em órbita? Explique.
2. Para a construção de edificações, o cultivo de alimentos e para realizar tarefas mecânicas cotidianas, máquinas simples vêm sendo utilizadas desde a Antiguidade. Identifique duas máquinas simples que você utiliza em seu cotidiano e descreva brevemente seu funcionamento.
3. Quais mudanças de estado físico você identifica no ciclo da água e como esse ciclo impacta o clima da Terra e a agricultura?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 9

Gravitação e monitoramento por satélites

GOOGLE EARTH © 2024 GOOGLE IMAGE © 2024 MAXAR TECHNOLOGIES

Imagem de satélite do município de Artur Nogueira, SP (2019).

O Sputnik 1 foi o primeiro satélite artificial colocado na órbita da Terra, no final da década de 1950, desenvolvido para possibilitar o estudo das camadas superiores da atmosfera terrestre. Atualmente, milhares de satélites artificiais orbitam a Terra, desempenhando importante papel no estudo do Universo e do planeta Terra, e no desenvolvimento científico e tecnológico.

As imagens registradas por satélites são utilizadas em diferentes aplicações e são fundamentais no monitoramento ambiental e agrícola, por exemplo. No Brasil, o uso desses instrumentos tem impactado a preservação de áreas florestais e a produção de alimentos, por meio do mapeamento de lavouras e áreas de criação de gado, fornecendo importantes informações para tomadas de decisão e efetivação de ações mais precisas para a redução de impactos ambientais causados pelo desmatamento ilegal. Mas você já se perguntou como um satélite permanece em órbita?

Neste capítulo, vamos estudar o movimento dos corpos em órbita, suas características e suas causas, as leis de Kepler e a lei da gravitação universal, que ajudarão a responder a essa e a outras questões.

Introdução ao estudo da gravitação

Formulada pelo cientista inglês Isaac Newton (1643-1727), a lei da gravitação universal explica como ocorre a interação gravitacional entre dois corpos que têm massa. Essa lei, no entanto, foi formulada graças à contribuição de estudos anteriores, como os realizados pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) e pelo físico e matemático italiano Galileu Galilei (1564-1642).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

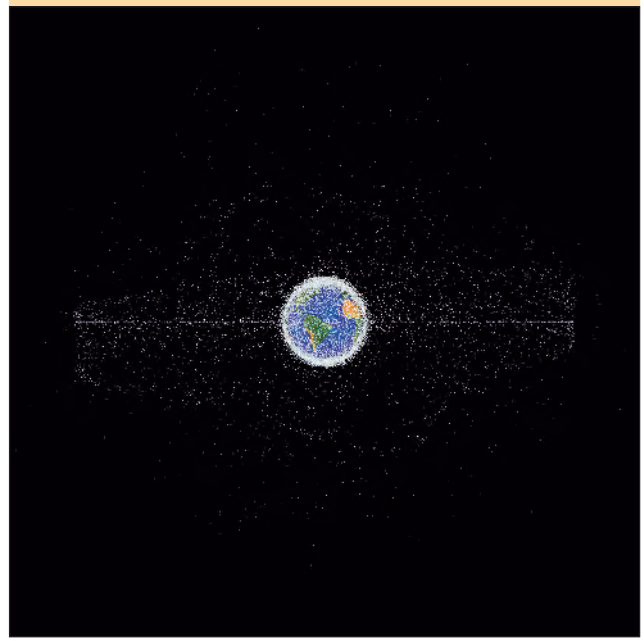
Kepler era assistente do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), cujo laboratório astronômico era um dos mais avançados da época. Com base nos estudos de Brahe sobre a órbita de Marte, Kepler desenvolveu um modelo que considerava as órbitas dos planetas elípticas, e não circulares, com os planetas orbitando o Sol. Em uma órbita elíptica, a intensidade da velocidade do planeta aumenta quando ele se aproxima do Sol e diminui quando ele se afasta. O modelo de Kepler para a órbita dos planetas é um modelo heliocêntrico, no qual os planetas se movem ao redor do Sol, um aprimoramento do modelo proposto pelo astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico (1473-1543).

Esse modelo é descrito pelas três leis fundamentais do movimento planetário, publicadas por Kepler em 1609 e 1619, conhecidas atualmente como leis de Kepler, as quais estudaremos a seguir.

Leis de Kepler

A Terra está rodeada de objetos que a orbitam. Entre esses objetos, além de satélites em funcionamento, há fragmentos de satélites que não estão mais em operação e outros detritos, que constituem lixo espacial. A figura apresenta uma imagem gerada por computador mostrando objetos ao redor do planeta Terra. Embora pareça, à primeira vista, uma distribuição aleatória, a distância desses objetos até a Terra, sua velocidade e seu período orbital seguem leis muito precisas, conhecidas como **leis de Kepler**. Apesar de terem sido estabelecidas para os planetas que orbitam o Sol, as leis de Kepler valem para qualquer corpo que orbita outro, como a Lua e outros satélites naturais, os cometas e os satélites artificiais, por exemplo.

Objetos rastreados orbitando a Terra



ODPO/NASA

Fonte: NASA Orbital Debris Program Office. **Photo Gallery**. [*S. l.*], 2 jul. 2024. Disponível em: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/photo-gallery/_images/highresolution/GEO-2019-4096.jpg. Acesso em: 2 jul. 2024.

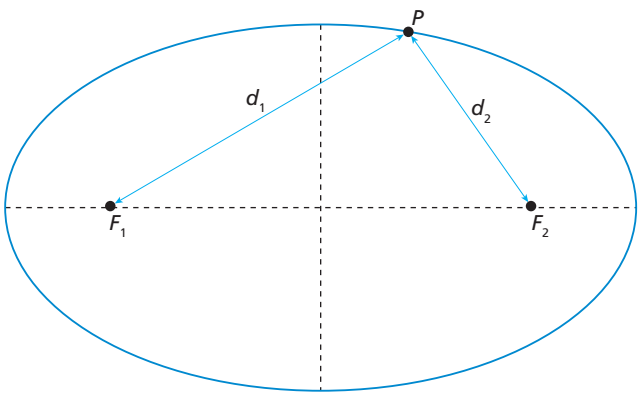
Imagem gerada por computador mostrando objetos que orbitam a Terra, rastreados pela agência espacial estadunidense Nasa (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço, em português). Aproximadamente 95% desses objetos são detritos, e não satélites em operação. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Primeira lei de Kepler

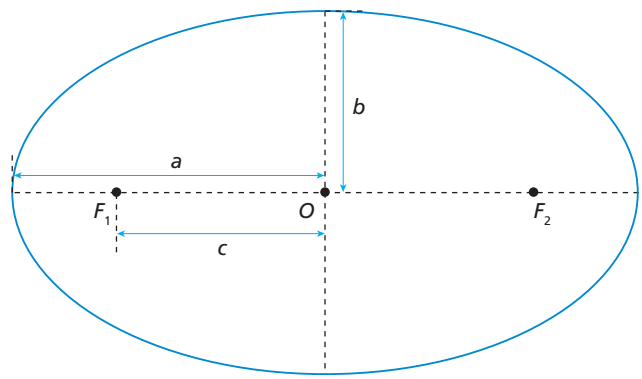
A **primeira lei de Kepler** diz respeito à forma das órbitas e está descrita a seguir.

Os planetas se movimentam em órbitas elípticas em torno do Sol, que ocupa um dos focos da elipse.

A elipse é uma figura geométrica plana – uma cônica – que tem dois eixos perpendiculares entre si, sendo um dos eixos maior que o outro. Sobre o eixo maior definem-se dois pontos chamados focos (F_1 e F_2), como mostram as figuras a seguir.



Representação de uma elipse identificando seus focos (F_1 e F_2) e as distâncias (d_1 e d_2) até um ponto P da curva elíptica.



Representação dos elementos de uma elipse.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

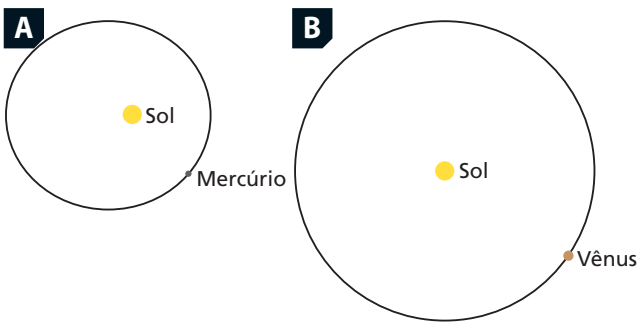
Uma propriedade da elipse determina que a soma das distâncias de seus focos (F_1 e F_2) até um ponto (P) da curva elíptica é constante, ou seja, $d_1 + d_2$ é constante.

Além dos focos, a elipse é caracterizada pelos seguintes elementos: semieixo maior (a), semieixo menor (b) e distância entre a origem ou o centro de simetria O e um dos focos (c).

A excentricidade (e) de uma cônica, como a elipse, indica quanto essa cônica se aproxima de uma circunferência. Para uma elipse, a excentricidade é calculada pela razão $e = \frac{c}{a}$, e sempre teremos $a > c$. Então, podemos concluir que a excentricidade da elipse sempre será um número entre 0 e 1.

Quanto maior a excentricidade, mais achatada será a elipse. Quando c for próximo de zero, a elipse terá o formato próximo ao de uma circunferência.

No caso da maioria dos planetas do Sistema Solar, o valor da excentricidade é baixo. Assim, a representação de suas órbitas é muito parecida com uma circunferência, mas ainda são elipses. A órbita de Mercúrio (figura A), por exemplo, se assemelha a uma circunferência, e sua excentricidade é a maior (0,2056) entre os planetas do Sistema Solar. Além disso, em órbitas elípticas como essa, o Sol está levemente deslocado da posição central. Em relação a Vênus (figura B), por outro lado, essas características são quase imperceptíveis, pois sua órbita apresenta a menor excentricidade (0,0068).



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das órbitas de **(A)** Mercúrio e **(B)** Vênus. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A tabela a seguir apresenta os valores da excentricidade da órbita dos planetas do Sistema Solar.

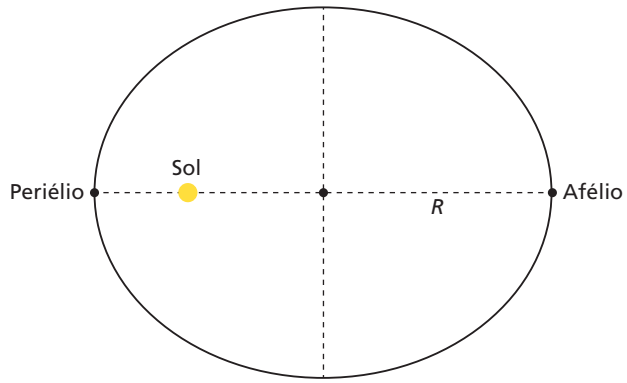
Excentricidade da órbita dos planetas do Sistema Solar

Planeta	Excentricidade da órbita
Mercúrio	0,2056
Vênus	0,0068
Terra	0,0167
Marte	0,0934
Júpiter	0,0485
Saturno	0,0556
Urano	0,0472
Netuno	0,0086

Fonte: elaborado com base em OBSERVATÓRIO EDUCATIVO ITINERANTE. O Sistema Solar: característica e dinâmica. **Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Rio Grande do Sul, [20--?]. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/oei/solar/solar04/solar04.htm. Acesso em: 8 out. 2024.

Valores da excentricidade da órbita dos planetas do Sistema Solar.

Enquanto percorrem suas órbitas, a distância dos astros até o Sol varia. Em determinado ponto da órbita estão mais próximos do Sol, em outro estão mais distantes. Com base nessas variações, definiu-se que a posição mais próxima do Sol que um astro pode ocupar em sua órbita é chamada de **periélio** e a mais distante, **afélio**.



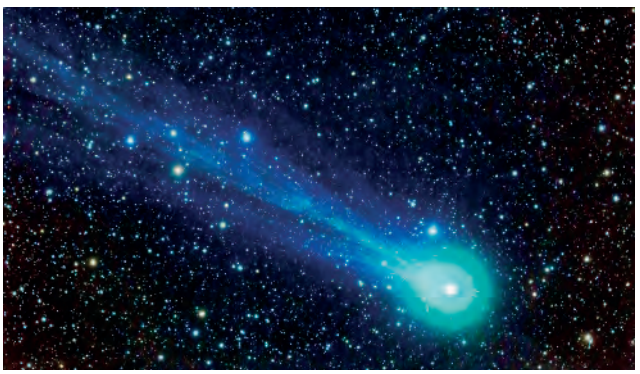
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do afélio e do periélio em uma órbita elíptica ao redor do Sol. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em órbitas elípticas como essa, o raio médio da órbita é determinado pelo semieixo maior da elipse (R).

Segunda lei de Kepler

Cometas são astros que, assim como os planetas, orbitam o Sol. Sua composição – gelo, poeira e rochas – difere da dos planetas em geral. Grande parte dos cometas periódicos tem órbita elíptica, mas com um formato mais alongado que o formato das órbitas planetárias, ou seja, com excentricidade maior. Ao se aproximar do Sol, com o aumento da temperatura, parte do gelo do cometa sublima, com isso, gás e poeira são liberados, formando as caudas do cometa. Cometas, em geral, têm duas caudas, uma de poeira (composta por partículas de poeira liberadas do núcleo) e outra de gás ionizado (composta por partículas eletricamente carregadas).



ALAN DYER/VWPICS/ALAMY/FOTOARENA

Cometa Lovejoy (C/2014 Q2), com sua cauda de gás ionizado, observado da Terra com um telescópio refrator (2015). Esse cometa foi observado pela primeira vez pelo australiano Terry Lovejoy (1966-), um astrônomo amador, em 17 de agosto de 2014.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Mas como podemos comparar a velocidade do cometa no periélio com a do afélio?

Kepler desenvolveu uma lei que permite responder a essa e a outras perguntas relativas aos movimentos de astros em órbitas ao redor do Sol. Como dito anteriormente, foi verificado que todas as leis de Kepler podem ser aplicadas a qualquer corpo em órbita gravitacional, e não apenas aos corpos em órbita em torno do Sol. A Lua ou os satélites artificiais ao redor da Terra, por exemplo, a infinidade de rochas que formam os anéis de Saturno, todos esses corpos têm movimentos que podem ser descritos pelas leis de Kepler.

A **segunda lei de Kepler**, também conhecida como lei das áreas, está enunciada a seguir.

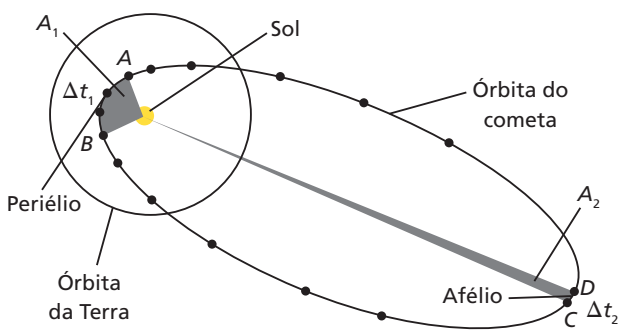
Um planeta descreve sua órbita de tal maneira que uma reta imaginária que o une ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

Matematicamente, a segunda lei de Kepler pode ser descrita pela expressão:

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2}$$

Isso significa que a intensidade da velocidade com que um planeta descreve sua trajetória é maior quando ele está mais próximo do Sol. Já quando está mais distante do Sol, a intensidade da velocidade com que o planeta descreve sua trajetória é menor.

Vamos tomar como exemplo um cometa em duas situações distintas: próximo do periélio e próximo do afélio, como mostra a figura a seguir. Nela, há duas áreas semelhantes a triângulos (representadas em cinza): uma na região do periélio e outra na do afélio. De acordo com a segunda lei de Kepler, quando medidas em intervalos de tempo iguais, essas duas áreas são iguais.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da órbita de um cometa. Em intervalos de tempo iguais ($\Delta t_1 = \Delta t_2$), a reta imaginária que une o cometa ao Sol varre áreas iguais ($A_1 = A_2$). (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como os pontos *C* e *D* estão a uma distância média do Sol muito maior que a dos pontos *A* e *B*, para que as áreas das figuras formadas entre esses pontos e o Sol sejam iguais, o comprimento do arco $\overset{\frown}{AB}$ deve ser muito maior que o comprimento do arco $\overset{\frown}{CD}$. Portanto, para que o cometa percorra as distâncias correspondentes ao comprimento dos arcos $\overset{\frown}{AB}$ e $\overset{\frown}{CD}$ em intervalos de tempo iguais, a intensidade da velocidade do cometa (e de qualquer outro astro) próximo do periélio deve ser maior que a intensidade da velocidade do cometa próximo do afélio.

Verifica-se, então, que a intensidade da velocidade orbital é máxima no periélio e mínima no afélio. Portanto, podemos concluir que, do afélio para o periélio, o movimento de translação ou de revolução do corpo celeste em torno do Sol é acelerado (não uniformemente) e, do periélio para o afélio, é retardado (não uniformemente).

A grandeza expressa pela razão $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ é denominada **velocidade areolar**, sendo constante para cada planeta de determinado sistema planetário.

Exemplo

Considerando que, em um sistema planetário, um planeta orbita determinada estrela e descreve $\frac{1}{8}$ de volta de sua órbita em 20 dias terrestres, determine:

a. o período de translação desse planeta em torno da estrela central;

O período de translação é dado por:

$\frac{1}{8} \cdot T = 20$ dias terrestres $\therefore T = 160$ dias terrestres

Em horas, o período é dado por:

$$T = 160 \cdot 24 \therefore T = 3.840 \text{ h}$$

b. a razão $\left(\frac{\Delta A}{\Delta t}\right)$, considerando que a órbita do planeta é aproximadamente circular, com diâmetro de 10.000 km.

A razão pode ser obtida usando-se o período calculado anteriormente:

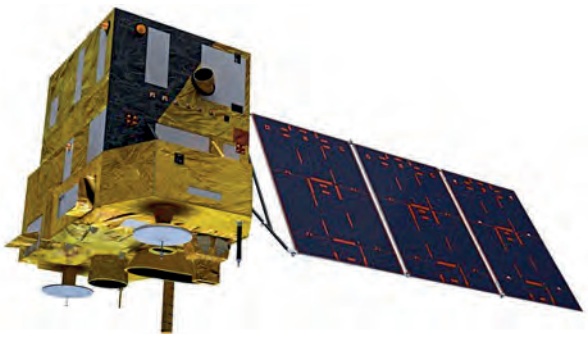
$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot (5.000 \text{ km})^2}{3.840 \text{ h}} \therefore \frac{\Delta A}{\Delta t} \simeq 20.453 \text{ km}^2/\text{h}$$

Terceira lei de Kepler

O satélite CBERS 04A foi lançado por Brasil e China, em cooperação, em 2019, para fins de sensoriamento remoto com aplicações em diversas áreas, incluindo o monitoramento ambiental – controle de desmatamento e queimadas na Amazônia Legal – de recursos hídricos e de áreas agrícolas. Esse satélite opera em uma altitude de cerca de 628,6 km, completando uma volta em torno da Terra a cada 97,25 min, aproximadamente, em uma órbita que passa próximo dos polos norte e sul da Terra,

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

aproximadamente no mesmo horário todos os dias e com iluminação solar uniforme, chamada órbita sol-síncrona.



CBERS/INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Satélite CBERS 04A, lançado em 20 de dezembro de 2019 pelo foguete Longa Marcha 4B, a partir do Centro de Lançamento de Satélites de Taiyuan (TSLC), na China.

Outro tipo de satélite, chamado de geoestacionário, completa uma volta em torno da Terra a cada 24 horas, tempo igual ao período aproximado de rotação da Terra; por isso, para um observador em um ponto da superfície da Terra, esse satélite parece permanecer estacionário. Os satélites geoestacionários encontram-se a cerca de 35.786 km de altitude.

O fato de as órbitas mais distantes do corpo central implicarem tempos de percurso maiores, como observado para as órbitas dos satélites sol-síncronos e geoestacionários, por exemplo, é explicado pela **terceira lei de Kepler**, enunciada a seguir.

A razão entre o quadrado do período orbital e o cubo do raio médio da órbita é uma constante.

$$\frac{T^2}{R^3} \text{ é constante}$$

De acordo com essa lei, quanto mais afastado do Sol um planeta estiver, maior será seu período de translação, ou seja, maior será o intervalo de tempo para dar uma volta completa em sua órbita.

Exemplo

Sabendo que a distância entre Marte e o Sol é de 1,522 vez a distância entre a Terra e o Sol, calcule o tempo que Marte leva para dar uma volta ao redor do Sol.

Lembrando que o período de translação da Terra em torno do Sol é 1 ano e aplicando as distâncias na terceira lei de Kepler, temos:

$$\frac{T'^2}{R'^3} = \frac{T^2}{R^3} \Rightarrow \frac{T'^2}{(1{,}522 \cdot R)^3} = \frac{1^2}{R^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{T'^2}{3{,}526 \cdot R^3} \simeq \frac{1^2}{R^3} \Rightarrow T'^2 \simeq 3{,}526 \therefore T' \simeq 1{,}88 \text{ ano}$$

Logo, o tempo que Marte leva para dar uma volta completa ao redor do Sol é maior que o tempo que a Terra leva.

A tabela a seguir apresenta os valores do raio médio da órbita (R) e do período orbital (T) referente aos planetas do Sistema Solar. O raio médio da órbita é dado em unidade astronômica (ua), que é a medida do raio médio da órbita do planeta Terra, ou seja, 1 ua $\simeq 1{,}49 \cdot 10^8$ km.

Raio médio da órbita e período orbital dos planetas do Sistema Solar

Planeta	Raio médio da órbita (ua)	Período orbital (anos terrestres)	$\frac{T^2}{R^3}\left(\frac{\text{ano}^2}{\text{ua}^3}\right)$
Mercúrio	0,387	0,241	1,002
Vênus	0,723	0,615	1,001
Terra	1,000	1,000	1,000
Marte	1,52	1,88	1,006
Júpiter	5,20	11,9	1,007
Saturno	9,57	29,4	0,986
Urano	19,17	83,7	0,994
Netuno	30,18	163,7	0,975

Fonte: elaborado com base em WILLIAMS, David R. Planetary Fact Sheet: Ratio to Earth Values. **NASA**, [*S. l.*], mar. 2024. Disponível em: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/planet_table_ratio.html. Acesso em: 8 out. 2024.

Valores do raio médio da órbita (R) e do período orbital (T) relativos aos planetas do Sistema Solar e à razão $\left(\frac{T^2}{R^3}\right)$.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

1. Considerando as três leis de Kepler, analise as proposições a seguir e classifique-as em corretas ou incorretas.

I. De acordo com a primeira lei de Kepler, as órbitas dos planetas em torno do Sol são elípticas, com o Sol ocupando o centro dessas elipses.

II. Como consequência da segunda lei de Kepler, no periélio, a intensidade da velocidade de translação do planeta é máxima e, no afélio, é mínima.

III. Conforme a terceira lei de Kepler, quanto maior é o raio médio da órbita de um planeta, maior é seu período de translação em torno do Sol.

IV. É impossível a existência de órbitas circulares para os astros que orbitam o Sol.

1. I. incorreta; II. correta; III. correta; IV. incorreta

2. Sabendo que os planetas do Sistema Solar se movimentam em torno do Sol (movimentos de translação), explique qual é a forma das trajetórias descritas por eles em relação à estrela e qual é a posição desta em relação a essas trajetórias.

2. Trajetórias elípticas com o Sol ocupando um dos focos da elipse.

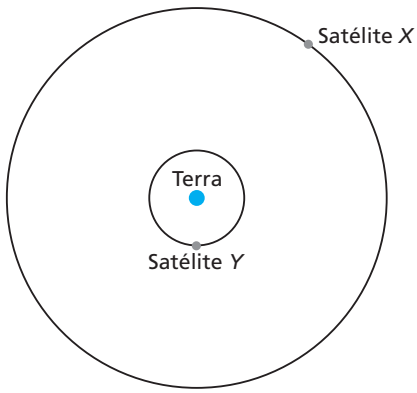
3. Em uma órbita planetária, o que são o afélio e o periélio? Considerando a primeira e a segunda leis de Kepler, descreva o que ocorre com a intensidade da velocidade orbital de um planeta nessas duas posições.

3. Afélio, ponto da órbita mais distante do Sol (menor velocidade). Periélio, ponto da órbita mais próximo do Sol (maior velocidade).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Dois satélites artificiais, *X* e *Y*, estão em órbita circular em torno da Terra e os raios de suas trajetórias mantêm entre si a relação 4:1. A figura a seguir ilustra essa situação.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos satélites *X* e *Y* e de suas órbitas ao redor da Terra. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sendo T_X e T_Y os períodos de revolução dos satélites *X* e *Y* em suas órbitas, respectivamente, determine a relação $\frac{T_X}{T_Y}$.

Analisar o enunciado

Os satélites artificiais *X* e *Y* estão percorrendo órbitas circulares em torno da Terra. De acordo com o enunciado e com a figura, as órbitas têm raios diferentes e, portanto, cada uma apresenta um período de revolução distinto.

Selecionar as informações relevantes

De acordo com o enunciado, os raios das órbitas *X* e *Y* mantêm entre si a relação de 4:1, ou seja, o raio da órbita do satélite *X* é quatro vezes o raio da órbita do satélite *Y*.

Aplicar o conceito estudado

Pede-se a relação $\frac{T_X}{T_Y}$ entre os períodos de revolução dos satélites. A dinâmica entre a Terra e seus satélites pode ser tratada como um minissistema solar. Logo, aplicando a terceira lei de Kepler, que relaciona os períodos com os raios das órbitas, temos:

$$\frac{T_X^2}{R_X^3} = \frac{T_Y^2}{R_Y^3} \Rightarrow T_X^2 = \left(\frac{R_X}{R_Y}\right)^3 \cdot T_Y^2$$

De acordo com o enunciado, sabe-se que $R_X = 4 \cdot R_Y$. Assim:

$$T_X^2 = \left(\frac{4 \cdot R_Y}{R_Y}\right)^3 \cdot T_Y^2 \Rightarrow T_X^2 = 64 \cdot T_Y^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_X = 8 \cdot T_Y \Rightarrow \frac{T_X}{T_Y} = 8$$

Verificar a solução

Como as relações se dão por meio do quadrado dos períodos e a relação entre os raios apresentam uma proporção de 1 para 4, podemos concluir que a razão obtida é coerente. Além disso, o resultado permite a verificação de que, quanto maior for o raio médio de órbita, maior será o período de revolução do satélite.

Fique por dentro

Leis de Kepler

PhET Physics Education Technology. **Leis de Kepler**. Universidade de Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/keplers-laws/latest/keplers-laws_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 8 out. 2024.

Nesse *site,* é possível realizar simulações para estudar as três leis de Kepler. Alterando as características de uma órbita planetária, como a excentricidade, é possível acompanhar o vetor velocidade do planeta e analisar as mudanças em sua direção e intensidade, por exemplo.

Força de atração gravitacional

Conforme estudamos até agora, os trabalhos de Kepler eram descritivos, isto é, descreviam como eram os movimentos dos planetas sem elucidar suas causas. Isaac Newton foi quem desenvolveu a teoria que explicava os movimentos dos astros, com base no conceito de força. Para isso, ele formulou não apenas uma lei da gravitação, como também contribuiu para o desenvolvimento da Dinâmica, área da Física que estuda como as forças alteram o movimento dos corpos, publicando sua teoria em 1687 na obra *Philosophiae naturalis principia mathematica*, que se tornou referência para os estudos de Física, Astronomia e Matemática.

A lei da gravitação universal de Newton explica por que a natureza da força que mantém um objeto em queda livre nas proximidades da Terra é a mesma da força que mantém um satélite natural ou artificial girando ao redor de um planeta, e este girando em torno de uma estrela.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **lei da gravitação** é assim enunciada:

Todos os corpos que têm massa atraem outros corpos que têm massa por meio da ação de forças com intensidades diretamente proporcionais ao produto das massas desses corpos e inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre eles.

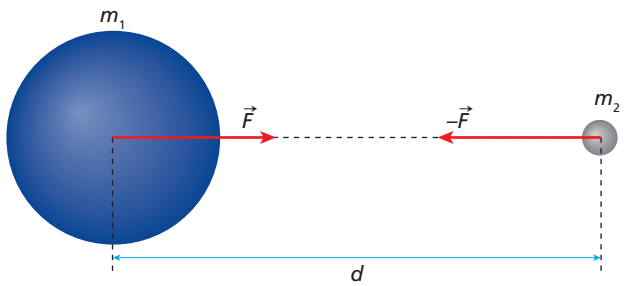
Considerando uma situação em que temos a Terra com massa m_1 e outro corpo, um satélite artificial de massa m_2, por exemplo, podemos dizer que a força gravitacional entre esses corpos, separados por uma distância d, é dada por:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Em que $G \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$ é a chamada **constante gravitacional** ou **constante da gravitação**.

Ela também pode ser representada como $G \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$

Note que a força de atração gravitacional entre dois corpos depende das massas dos corpos e da distância entre eles.



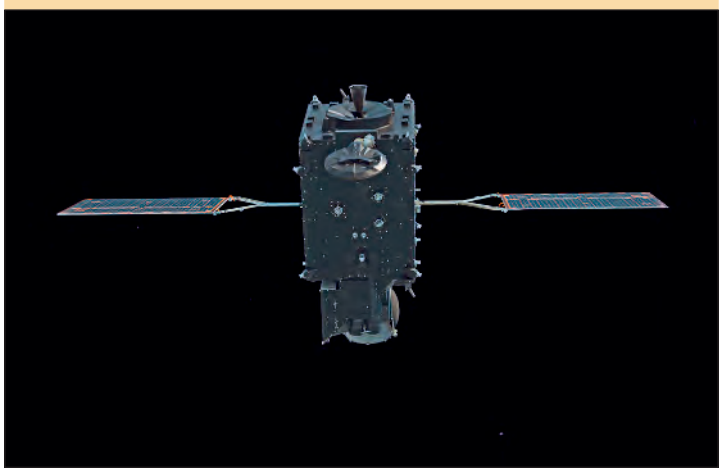
Representação esquemática da força de atração gravitacional entre dois corpos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Exemplo 1

Satélites artificiais podem ser usados para a coleta de dados meteorológicos, fornecendo informações que são muito importantes para o planejamento de safras na agricultura, como é o caso do satélite Meteosat-12, um satélite meteorológico geoestacionário lançado ao espaço em 2022.

Satélite Meteosat-12



ESA/MLABSPACE/NASA

Fonte: THE EUROPEAN SPACE AGENCY. **MTG-I's orbit is geostationary (Illustration)**. [*S. l.*], 8 dez. 2022. Disponível em: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/12/MTG-I_s_orbit_is_geostationary. Acesso em: 8 out. 2024.

Representação artística do satélite Meteosat-12. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Considere um satélite cuja massa (m_s) é, aproximadamente, 2.000 kg. Sabendo que a massa da Terra é $m_T \simeq 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg e que a distância entre o satélite e o centro da Terra é $d \simeq 40.000$ km, calcule a intensidade da força de atração gravitacional entre ambos. Adote para a constante da gravitação o valor $G \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.

Transformando $d \simeq 40.000$ km em metro, temos $d \simeq 4 \cdot 10^7$ m.

Da lei da gravitação, a intensidade da força de atração gravitacional é dada por:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \Rightarrow F \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg \cdot 2 \cdot 10^3\ kg}{(4 \cdot 10^7\ m)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 7{,}5 \cdot 10^{12}\ N \Rightarrow F \simeq 50 \cdot 10^1\ N \therefore F \simeq 500\ N$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo 2

Considere dois satélites de massas 2.000 kg que, após serem construídos, foram armazenados separadamente, esperando para serem lançados.

a. Se esses satélites estão a uma distância de 50 m um do outro, qual é a intensidade da força gravitacional entre eles? Adote para a constante da gravitação o valor $G \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.

A intensidade da força de atração gravitacional entre os dois satélites pode ser calculada como:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \Rightarrow F \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ kg}}{(50 \text{ m})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{4 \cdot 10^6}{2{,}5 \cdot 10^3} \text{ N} \Rightarrow F \simeq 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\therefore F \simeq 10{,}7 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

Note que, a despeito de os satélites terem massas relativamente grandes e estarem próximos entre si, a intensidade da força de atração gravitacional entre eles é muito pequena. Pela mesma razão não sentimos a força gravitacional entre nosso corpo e um carro, por exemplo, nem aquela estabelecida entre nosso corpo e o corpo de outra pessoa em nossa vizinhança.

b. Qual seria o módulo da aceleração dos satélites em decorrência da ação exclusiva dessas forças?

Para calcular o módulo da aceleração dos satélites sob a ação da força gravitacional entre eles, podemos aplicar a segunda lei de Newton.

$$F = m \cdot a \Rightarrow 10{,}7 \cdot 10^{-8} \text{ N} \simeq 2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot a \Rightarrow a \simeq \frac{10{,}7 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^3} \text{ m/s}^2$$

$$\therefore a \simeq 5{,}4 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}^2$$

Ou seja, o módulo da aceleração é extremamente pequeno.

Entre as quatro forças fundamentais da natureza (nuclear forte, eletromagnética, nuclear fraca e gravitacional), a força gravitacional é a de menor magnitude relativa, como se pode verificar no exemplo anterior. A importância dessa força, porém, dentro de seu âmbito de ação é extremamente relevante, já que ela é responsável pelas interações entre massas verificadas no Sistema Solar, nas galáxias e no próprio Universo.

Campo gravitacional

Um corpo de massa M gera um campo gravitacional ao seu redor em uma região do espaço. Quando se coloca outro corpo de massa m nessa região, ambos ficam sujeitos à ação da força gravitacional. **Campo gravitacional** é o nome dado à região de perturbação gravitacional que um corpo gera ao seu redor. O campo gravitacional é responsável por permanecermos na superfície da Terra e por manter os satélites em órbita ao redor da Terra, e a Terra em órbita ao redor do Sol.

Conforme estudamos anteriormente, a intensidade da força que um corpo de massa M exerce sobre um corpo de massa m, separados um do outro por uma distância d, é dada pela lei da gravitação universal de Newton.

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Todos os corpos que têm massa geram um campo gravitacional, de forma que, ao colocar outro objeto com massa na região de atuação desse campo, é estabelecida uma força gravitacional entre ambos. Matematicamente, a intensidade do campo gravitacional é dada pela equação:

$$g = \frac{F}{m} \Rightarrow g = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2 \cdot m} \Rightarrow g = \frac{GM}{d^2}$$

Com base nessa equação, desprezados os efeitos relacionados à rotação do planeta Terra, podemos, por exemplo, determinar a intensidade do campo gravitacional na superfície da Terra, isto é, a uma distância igual ao raio da Terra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considerando que a massa da Terra é de $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg, que o raio médio da Terra é de $6{,}37 \cdot 10^{6}$ m e que $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$, qual é a intensidade do campo gravitacional na superfície da Terra?

De acordo com esses dados, a intensidade do campo gravitacional na superfície da Terra é:

$$g = G \cdot \frac{M_{Terra}}{R_{Terra}^2} \Rightarrow g = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg}{(6{,}37 \cdot 10^{6}\ m)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow g = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}47 \cdot 10^{11}\ m/s^2 \therefore g \simeq 9{,}80\ m/s^2$$

Conclui-se, então, que todos os corpos massivos na superfície terrestre ficam sujeitos à força gravitacional da Terra, que chamamos de força peso ($P = m \cdot g$). Ou seja, a força de atração gravitacional da Terra sobre um corpo de massa m é equivalente ao peso desse corpo, considerando os efeitos ligados à rotação da Terra desprezíveis.

Além disso, nota-se que, com o aumento da altitude, ocorre a diminuição no valor da intensidade do campo gravitacional da Terra e, portanto, a diminuição da intensidade da força peso. Assim, por exemplo, a uma altitude h, a intensidade da força peso do corpo será: $P = m \cdot g'$.

Sendo:

$$g' = G \cdot \frac{M_{Terra}}{(R_{Terra} + h)^2}$$

Exemplo 1

Considerando a Estação Espacial Internacional a uma altitude de 408 km, qual é a intensidade do campo gravitacional resultante de sua interação com a Terra nos pontos de sua órbita?

Considerando que a massa da Terra é $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg, que o raio médio do planeta é $6{,}37 \cdot 10^{6}$ m e que $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$, temos:

$$g' = G \cdot \frac{M_{Terra}}{(R_{Terra} + h)^2} \Rightarrow g' = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2} \cdot \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg}{(6{,}37 \cdot 10^{6}\ m + 4{,}08 \cdot 10^{5}\ m)^2}$$

$$\therefore g' = 8{,}66\ m/s^2$$

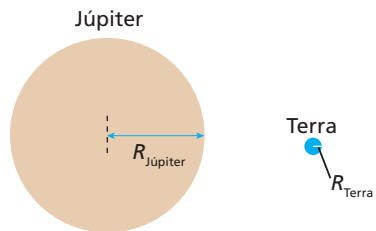
Exemplo 2

O planeta Júpiter é o maior do Sistema Solar. Ele tem raio médio cerca de 11,2 vezes o da Terra, e sua massa é, aproximadamente, 318 vezes a terrestre.

a. Qual é o valor da intensidade da aceleração da gravidade na superfície de Júpiter?

Considerando $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ e $g = 10{,}0\ m/s^2$, temos:

$$g_{Terra} = G \cdot \frac{M_{Terra}}{R_{Terra}^2} \text{ e } g_{Júpiter} = G \cdot \frac{M_{Júpiter}}{R_{Júpiter}^2}$$



Representação esquemática comparando o raio médio da Terra e o raio médio de Júpiter. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Substituindo os valores relativos a Júpiter, obtemos:

$$g_{Júpiter} = G \cdot \frac{318\ M_{Terra}}{(11{,}2\ R_{Terra})^2} \Rightarrow g_{Júpiter} = \frac{318}{125{,}44} \cdot G \cdot \frac{M_{Terra}}{R_{Terra}^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow g_{Júpiter} = \frac{318}{125{,}44} \cdot g_{Terra} \Rightarrow g_{Júpiter} \simeq 2{,}53 \cdot 10{,}0 \therefore g_{Júpiter} \simeq 25{,}3\ m/s^2$$

Desprezando os efeitos da rotação do planeta, a intensidade da aceleração da gravidade nas proximidades de um planeta ou a intensidade do campo gravitacional nas vizinhanças de sua superfície são iguais à aceleração de queda livre de um pequeno objeto junto ao astro.

b. Como a intensidade da aceleração da gravidade na superfície de Júpiter se compara à intensidade da aceleração da gravidade na superfície da Terra?

Como a aceleração da gravidade na superfície da Terra (g_{Terra}) é, aproximadamente, 10,0 m/s², temos:

$$\frac{g_{Júpiter}}{g_{Terra}} = \frac{25{,}3\ m/s^2}{10{,}0\ m/s^2} \therefore g_{Júpiter} \simeq 2{,}5 \cdot g_{Terra}$$

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Gravidade e órbitas

PhET Physics Education Technology. **Gravidade e órbitas**. Universidade de Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 9 out. 2024.

O simulador possibilita aprofundar o estudo da lei de Newton da gravitação. Alterando os valores das massas de dois objetos que interagem gravitacionalmente, é possível analisar a variação na intensidade da força gravitacional entre eles e as alterações em suas órbitas.

Marés

A atração gravitacional que a Lua exerce sobre a Terra e, em menor grau, a atração gravitacional que o Sol exerce sobre a Terra resultam nas **marés**, que podem impactar atividades humanas, como a pesca, e o comportamento de animais marinhos, por exemplo. Como decorrência da atração gravitacional, o nível das águas dos mares varia periodicamente; quando esse nível baixa, temos a **maré baixa** e, quando sobe, temos a **maré alta**.

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

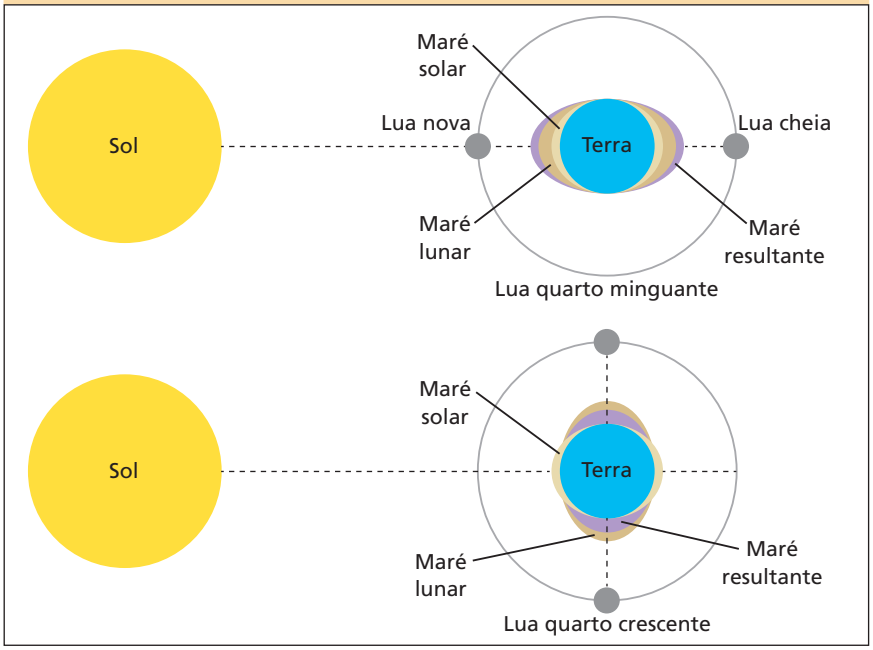
(A) Maré baixa e **(B)** maré alta na praia do Jabaquara, Paraty, RJ (2017).

Para compreender como ocorrem as marés, vamos considerar toda a água líquida do planeta como um corpo flexível cuja forma se altera conforme a maior ou a menor intensidade da força gravitacional.

A figura a seguir apresenta a posição relativa entre a Terra, a Lua e o Sol na formação das marés.

Posição relativa da Terra, da Lua e do Sol na formação das marés

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em VOGEL, T. NASA. **Moon**. Tides. [*S. l.*], 28 jun. 2024. Disponível em: https://science.nasa.gov/moon/tides/. Acesso em: 9 out. 2024.

Representação esquemática da posição relativa da Terra, da Lua e do Sol no fenômeno das marés, que ocorre devido à interação gravitacional entre a Terra, o Sol e a Lua. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Na formação das marés, a influência gravitacional do Sol é apenas 46% daquela produzida pela Lua, que está bem mais próxima da Terra do que o Sol.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Satélites artificiais

Até o momento, estudamos algumas das aplicações dos satélites artificiais, mas como essa história se iniciou? As pesquisas para colocar objetos e seres humanos em órbita começaram após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), durante a década de 1950. O cenário político pós-guerra caracterizava-se pela disputa de poder estratégico e militar entre a então União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) e os Estados Unidos, processo que ficou conhecido como Guerra Fria (1947-1991). As tentativas de cada um dos blocos em superar o poderio do outro tiveram várias consequências, como o aumento da produção de artefatos nucleares e a chamada corrida espacial.

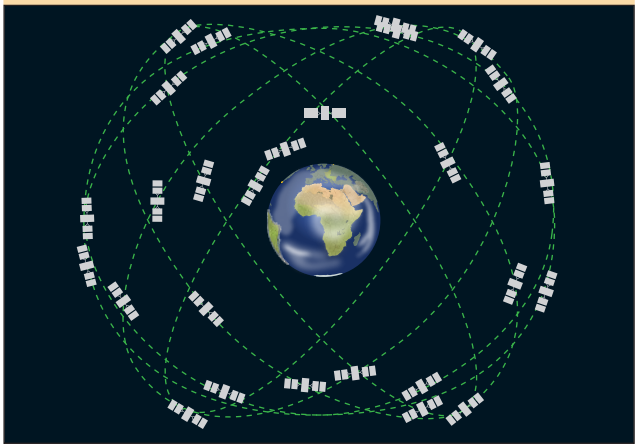
Com as pesquisas espaciais, foi possível desenvolver satélites de comunicação, de observação do Universo, como os telescópios espaciais, e meteorológicos, entre outros, que utilizamos até mesmo sem perceber. Os dispositivos de localização presentes nos telefones celulares, por exemplo, resultam da comunicação entre esses aparelhos e os satélites que compõem o sistema de posicionamento global.

Qualquer equipamento, sonda, telescópio ou estação espacial que esteja em órbita em torno de um astro é chamado de **satélite artificial**. Quando um satélite tem período de movimento orbital, ou translação, igual ao período de rotação do astro que orbita, é chamado de **satélite estacionário**. No caso da Terra, que tem período de rotação aproximado de 24 horas, chamamos de estacionário ou geoestacionário o satélite cujo período orbital é de 24 horas. Isso significa que, uma vez colocado em órbita, o satélite permanece sobre o mesmo ponto da superfície terrestre.

Entre os satélites que orbitam a Terra, há aqueles utilizados para navegação e obtenção de medidas precisas de posições geográficas. Conhecido popularmente pela sigla GPS (do inglês ***g**lobal **p**ositioning **s**ystem*), o sistema de posicionamento global foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, colocado em operação em 1973 e disponibilizado para uso mundial em 1995. Sua atuação se dá em três principais segmentos: o espacial, formado por cerca de 30 satélites; o de controle, formado por centros de monitoramento que ficam em terra e interagem com os satélites; e o do usuário, composto de uma antena e de um receptor para captar e decodificar os sinais enviados pelos satélites, fornecendo ao usuário informações sobre seu posicionamento, sua velocidade e sua direção de deslocamento.

Os satélites de GPS estão em órbitas que vão de aproximadamente 1.000 km a 35.000 km de altitude. Eles se movimentam a uma velocidade de cerca de 14.000 km/h, completando duas voltas na Terra a cada dia. Essa configuração garante cobertura global contínua.

Satélites do sistema de posicionamento global (GPS)



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SPACE segment. **Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics**. [*S. l.*, 202-]. Disponível em: https://www.gps.gov/systems/gps/space/. Acesso em: 8 out. 2024.

Representação esquemática dos satélites que compõem o sistema de posicionamento global, que possui entre 24 e 32 satélites em operação. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No Brasil, com a finalidade de monitorar o desmatamento, especialmente da região amazônica, e extensas áreas agrícolas em todo o território nacional, cientistas brasileiros desenvolveram vários satélites. Um deles, o Amazônia-1, lançado em 2021, foi completamente projetado e testado no Brasil.

Satélite Amazônia-1

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sobre o satélite**. [*S. l.*], 17 abr. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/programas/amazonia1/sobre-o-satelite/sobre-o-satelite. Acesso em: 8 out. 2024.

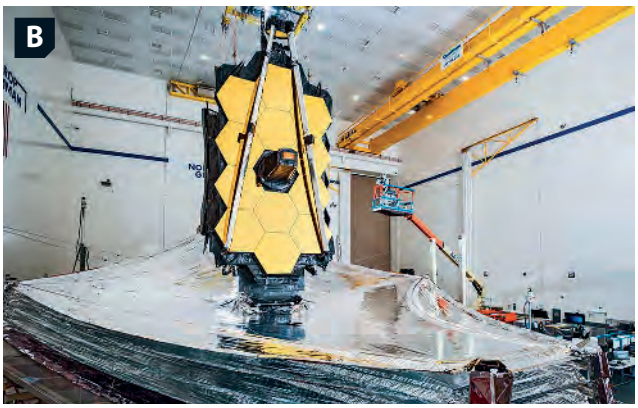
Representação artística do satélite Amazônia-1. (Cores-fantasia.)

Outro satélite artificial utilizado em pesquisas científicas é o telescópio espacial Hubble (figura A), lançado em 1990. Ele orbita a Terra a uma altitude de aproximadamente 550 km, ou seja, acima da atmosfera, o que reduz a distorção da luz provocada pelas camadas atmosféricas. Assim, as imagens captadas pelo Hubble são muito superiores às dos telescópios terrestres. Em 2021, foi lançado o supertelescópio James Webb (figura B), composto de sistemas ópticos mais sofisticados e recursos mais avançados que

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

os do Hubble, como sensibilidade a radiações na faixa do infravermelho. Em 2023, foi lançado outro telescópio espacial, o Euclides, que, operando próximo ao Webb, nas vizinhanças de um ponto de estabilidade gravitacional, vai possibilitar a produção de um mapa tridimensional do Universo observável.

NASA



CHRIS GUNN/NASA

(A) Telescópio espacial Hubble (2023). **(B)** Telescópio espacial James Webb em construção (Kourou, Guiana Francesa, 2021). (Imagens sem escala.)

Satélites de monitoramento na agricultura

Além das aplicações citadas anteriormente, os satélites artificiais também podem contribuir com a produtividade agrícola, fornecendo imagens amplas de fazendas, zonas de plantio e áreas de desmatamento. Dessa forma, é possível monitorar áreas de uma plantação que apresentam, por exemplo, menor produtividade, possibilitando a identificação de possíveis falhas em sistemas de irrigação e no controle de pragas. Por meio das imagens de satélites, a detecção de irregularidades se torna mais eficiente, ajudando os produtores agrícolas a adotar medidas de prevenção e correção ao longo das safras.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura e Pecuária do governo brasileiro, oferece acesso a uma base de dados de satélites de monitoramento, com informações sobre as missões e os satélites ativos utilizados para pesquisas na área agrícola e ambiental. Outro órgão que atua no monitoramento via satélite é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Imagem de alta resolução espacial de área agrícola no sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul obtida pelo satélite CBERS-4 em dezembro de 2021, com o objetivo de monitorar e acompanhar a expansão da agricultura. O satélite é resultado de uma parceria técnico-científico espacial entre o Brasil e a China, operado pelo Inpe, no Brasil. (Cores-fantasia.)

Velocidade orbital

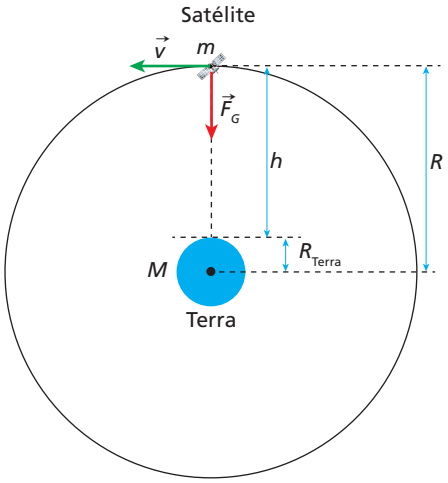
O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), no Maranhão, tem uma excelente localização por estar próximo à linha do Equador. Como a própria Terra está em rotação, qualquer corpo em sua superfície realiza movimento circular e uniforme em relação ao centro terrestre, sendo que um corpo na linha do Equador tem movimento com velocidade escalar linear maior do que teria em outras latitudes. A velocidade é uma variável fundamental para a colocação de um satélite em órbita. Parte significativa do gasto de combustível em um lançamento se dá no ajuste da velocidade ideal para a órbita pretendida e, partindo-se de bases de lançamento próximas à linha do Equador, obtém-se a vantagem de velocidades escalares lineares inicialmente maiores.

REPRODUÇÃO/DCTA

Lançamento do foguete sul-coreano Hanbit-TLV em março de 2023 no Centro de Lançamento de Alcântara, no Maranhão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um satélite em órbita ao redor da Terra. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Mas como determinar a velocidade necessária para que um satélite, a determinada distância da Terra, fique em órbita estável?

Considerando que um satélite em órbita execute um movimento circular e uniforme (MCU), a força resultante sobre ele – força de atração gravitacional – faz o papel de força centrípeta.

Para calcular a velocidade orbital de um satélite de massa m que está à altitude h em relação à superfície terrestre e considerando-se a massa M da Terra, temos:

$$F = F_{cp} \Rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{(R_{Terra} + h)^2} = m \cdot \frac{v^2}{(R_{Terra} + h)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{G \cdot M}{(R_{Terra} + h)} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{(R_{Terra} + h)}}$$

A velocidade calculada corresponde à **velocidade orbital** do satélite. Perceba que a velocidade orbital não depende da massa do satélite e tem intensidade constante em trajetórias circulares, já que depende somente de valores constantes, G, M, R_{Terra} e h.

Além disso, podemos deduzir a terceira lei de Kepler fazendo $R = R_{Terra} + h$, lembrando que $v = \frac{2\pi R}{T}$ e substituindo R e v na equação da velocidade orbital:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}} \Rightarrow \frac{2\pi R}{T} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}} \Rightarrow \frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{G \cdot M}{R} \Rightarrow \frac{R^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2} \Rightarrow \frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M}$$

Note que $\frac{4\pi^2}{G \cdot M}$ é uma constante que só depende da massa central em torno da qual o satélite orbita.

Exemplo

Considere um satélite geoestacionário, ou seja, um satélite que apresenta período de translação igual ao período de rotação da Terra ($T_{Terra} = 8{,}64 \cdot 10^4$ s). Qual é, aproximadamente, a altura h, em relação à superfície da Terra, de um satélite geoestacionário e a intensidade de sua velocidade orbital?

Como o satélite é geoestacionário, temos: $T_{satélite} = T_{Terra} = 8{,}64 \cdot 10^4$ s

Considerando $M_{Terra} = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg, $R_{Terra} = 6{,}37 \cdot 10^6$ m e $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$ e aplicando a terceira lei de Kepler, temos:

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{G \cdot M} \cdot R^3 \Rightarrow R^3 = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2} \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg \cdot (8{,}64 \cdot 10^4\ s)^2}{4\pi^2}$$

$$\Rightarrow R^3 = \frac{2.972{,}54 \cdot 10^{21}\ m^3}{4\pi^2} \Rightarrow R = \sqrt[3]{75{,}3 \cdot 10^{21}\ m^3} \therefore R \simeq 4{,}22 \cdot 10^7\ m$$

Como $R = R_{Terra} + h$, podemos fazer:

$$R = R_{Terra} + h \Rightarrow 4{,}22 \cdot 10^7\ m \simeq 6{,}37 \cdot 10^6\ m + h \therefore h \simeq 3{,}583 \cdot 10^7\ m \text{ ou } h \simeq 35.830\ km$$

Para a intensidade da velocidade orbital, temos:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_{Terra} + h}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^7 \frac{m^3}{kg \cdot s^2} \cdot 5{,}97 \cdot 10^{24}\ kg}{4{,}22 \cdot 10^7\ m}} \Rightarrow$$

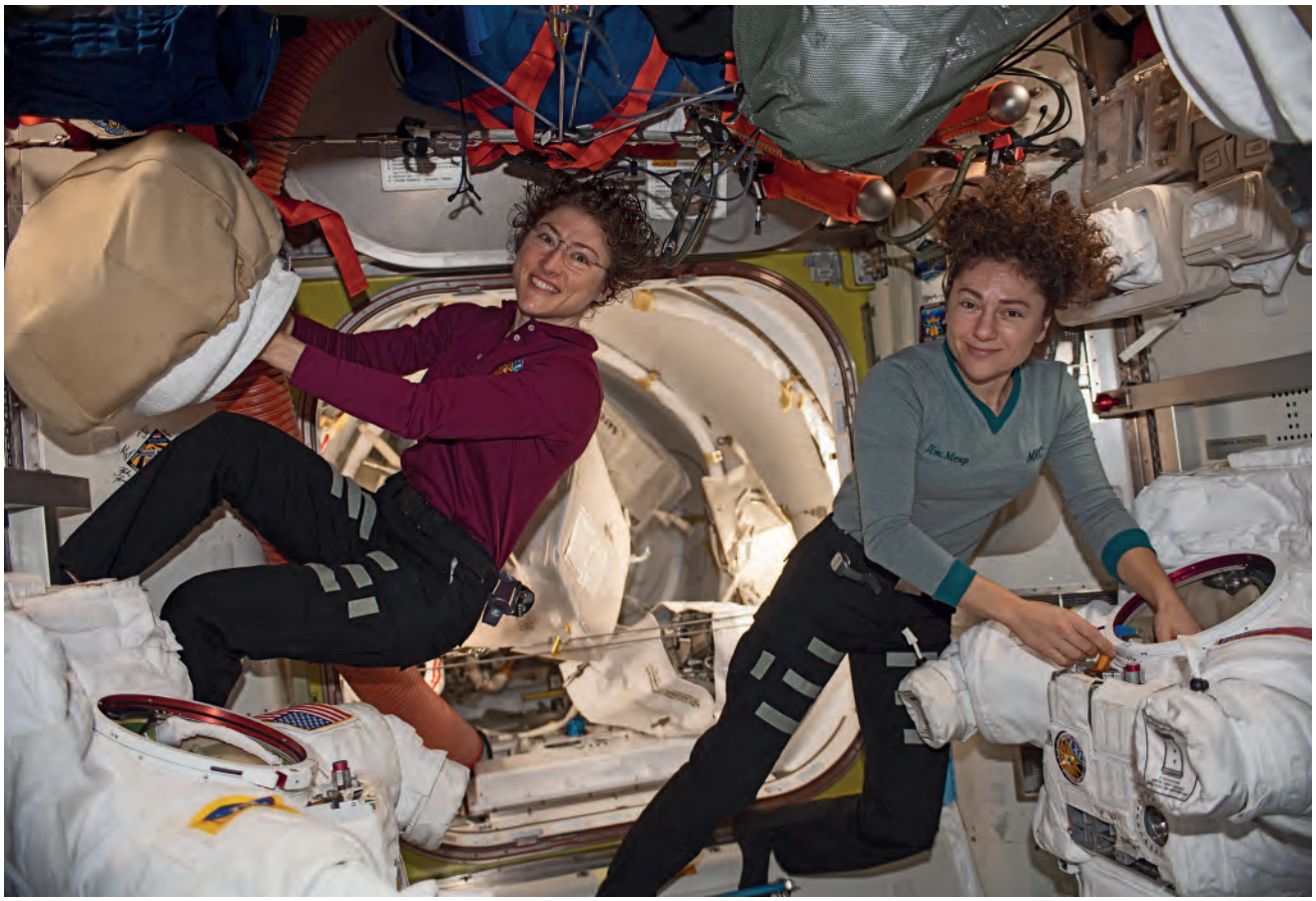
$$\Rightarrow v = \sqrt{9{,}43 \cdot 10^6\ m/s^2} \therefore v \simeq 3.070\ m/s \text{ ou } v \simeq 11.052\ km/h$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Imponderabilidade e alimentação no espaço

A intensidade do campo gravitacional da Terra diminui com o quadrado da distância do centro do planeta, ou seja, quanto maior for a distância ao centro da Terra, menos intenso será o campo gravitacional. Conforme estudamos, há uma força gravitacional aplicada na Estação Espacial Internacional e nos astronautas em seu interior. Ela é menor do que a verificada na superfície da Terra, porém suficiente para manter esses corpos em órbita.

Nessa situação, tanto a espaçonave como os astronautas orbitam a Terra como se estivessem em constante queda livre, com a mesma aceleração $\vec{g}$ nos diferentes pontos da órbita. Por esse motivo, os astronautas parecem flutuar e experimentam a sensação de ausência de peso.



NASA

Astronautas estadunidenses Christina Koch (à esquerda) e Jessica Meir (à direita) na Estação Espacial Internacional (2020). As duas astronautas farão parte da missão Artemis da Nasa de exploração da Lua, prevista para 2025.

O mesmo raciocínio pode ser empregado em relação a uma pessoa dentro de um elevador em queda livre: tanto a pessoa quanto o elevador estão caindo com a mesma aceleração ($\vec{g}$), e a pessoa tem a sensação de ausência de peso, pois a força normal de interação com o piso elevador é nula. Essa sensação de ausência de peso provocada pela ausência da força normal é chamada de **imponderabilidade**.

Por causa da imponderabilidade, os astronautas precisam de menos energia para exercer suas atividades e, por isso, consomem menos calorias do que normalmente consumiriam caso estivessem na Terra. Os astronautas do Projeto Espacial Gemini (entre 1961 e 1966), por exemplo, consumiam 500 calorias a menos que o normal. A comida tinha 99% menos umidade, para reduzir sua massa, cerca de 17% de proteínas, 32% de gordura e 51% de carboidratos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas missões do Programa Espacial Apollo (entre 1961 e 1972), que levou pela primeira vez o homem à Lua, em 1969, a comida era conservada por meio de um processo chamado **liofilização**, no qual os alimentos são congelados e depois desidratados por meio da sublimação.

FOTOS: REPRODUÇÃO/ERIC LONG/NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM, SMITHSONIAN INSTITUTION-WASHINGTON, DC

Exemplos de comida liofilizada levada a bordo das missões do Programa Espacial Apollo: **(A)** bolo de abacaxi, **(B)** bife com vegetais e **(C)** pudim de chocolate.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Qual é a intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos com massas iguais a 700 kg separados por uma distância de $5 \cdot 10^{12}$ cm? 4. $1{,}31 \cdot 10^{-26}$ N

5. (UFRGS-RS) Considerando que o módulo da aceleração da gravidade na Terra é igual a 10 m/s², é correto afirmar que, se existisse um planeta cuja massa e cujo raio fossem quatro vezes superiores aos da Terra, a aceleração da gravidade seria de: 5. Alternativa **a**.

a. 2,5 m/s².
b. 5 m/s².
c. 10 m/s².
d. 20 m/s².
e. 40 m/s².

6. É possível simular dentro de um avião a sensação de imponderabilidade – ausência aparente de peso – como a sentida por astronautas da Estação Espacial Internacional em movimento orbital em torno da Terra. Para isso, aeronaves adaptadas são projetadas, com inclinação de cerca de 49°, em uma trajetória praticamente parabólica, semelhante à de um pequeno objeto lançado obliquamente sob a ação exclusiva da gravidade. Durante o movimento em trajetória parabólica, os passageiros parecem flutuar dentro do avião por cerca de 20 s. Em voos como esses, cientistas de diversas áreas realizam experimentos para estudar como diferentes mecanismos funcionam em situações de microgravidade ou de gravidade aparente muito próxima de zero.

Como você explica essa aparente ausência de peso?

6. As pessoas e o avião possuem aceleração vetorial igual a $\vec{g}$.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA

Cientistas em uma situação de microgravidade em um voo parabólico conduzido pela Agência Espacial Europeia (2004).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EM FOCO A Estação Espacial Internacional (EEI)

O fim da Guerra Fria provocou sensíveis distensões nas relações entre Estados Unidos e Rússia, que passaram a adotar políticas de cooperação mútua e parcerias tecnológicas. O sonho estadunidense de construir uma base espacial maior e mais moderna que a soviética Mir, colocada em órbita em 1986 e notabilizada por abrigar astronautas por longos períodos de tempo, de um ano ou mais, ganhou contornos concretos, já que o ideal envolveu e agregou também outras nações.

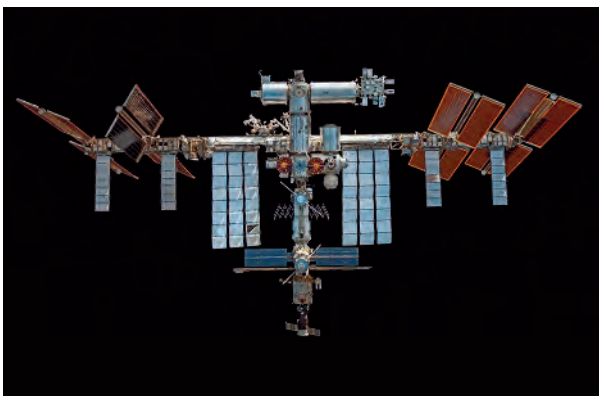
Associaram-se às duas superpotências outros treze países, onze da Europa, o Canadá e o Japão, cada qual com direito de utilização proporcional aos investimentos financeiros e contribuições tecnológicas propostos. O grupo elaborou, então, um ambicioso projeto, orçado em cerca de 100 bilhões de dólares, prevendo a construção de uma gigantesca base a ser montada em etapas, denominada Estação Espacial Internacional (EEI). Em novembro de 1998, foram lançados os primeiros módulos, iniciando-se assim uma sucessão de acoplagens e conexões em pleno espaço. A conclusão dessa montagem ocorreu oficialmente em 8 de junho de 2011.

A EEI tem cerca de 450 toneladas e abrange uma área equivalente a quase dois campos de futebol, com 110 m de comprimento por 80 m de largura. Encontra-se em órbita baixa, podendo ser vista da Terra, inclusive durante o dia, constituindo-se no corpo mais brilhante no céu depois do Sol e da Lua. Sua órbita, que tem altura média de 408 km em relação à superfície terrestre, é percorrida a cada 1 h e 30 min a uma velocidade próxima de 28.000 km/h, o que lhe possibilita percorrer a distância entre o Rio de Janeiro e Paris em apenas 20 min.

Devido à sua inclinação de 51,6 graus em relação ao Equador, a EEI é um posto privilegiado de observação da Terra, já que praticamente a totalidade do planeta (85% da sua área superficial) pode ser visualizada e monitorada.

Fenômenos meteorológicos são mais bem avaliados da EEI. Cientistas dos países signatários do ousado empreendimento realizam em cada missão experimentos diversos em ambiente de microgravidade e verificam o comportamento de substâncias e organismos vivos, inclusive do próprio ser humano, submetidos a essas condições, o que possibilita o desenvolvimento de novos materiais, procedimentos técnicos, terapias e medicamentos.

Na EEI, podem ser desenvolvidas tecnologias mais avançadas para diversas áreas, como robótica, computação, telecomunicações e agricultura.



ESA/NASA

Estação Espacial Internacional fotografada pelo astronauta da Agência Espacial Europeia Thomas Pesquet em novembro de 2021. (Composição de fotografias.)

1. Como se deu o processo de montagem da EEI? 1. Em módulos.
2. A massa da EEI aumentou ao longo de sua montagem em pleno espaço. Esse fato provocou alterações no raio de sua órbita? 2. Não.
3. Em suas longas permanências a bordo, devido à microgravidade, os astronautas da EEI perdem massa óssea e muscular. Como é feita a reposição dessas perdas? 3. Por meio de suplementos alimentares e musculação a bordo.
4. De que forma os suprimentos são enviados para a EEI? 4. Por naves de carga.

Fique por dentro

Endurance: um ano no espaço

KELLY, S. São Paulo: Intrínseca, 2017.

O livro apresenta um relato da rotina do astronauta Scott Kelly, que permaneceu um ano no espaço a bordo da EEI. Nesse depoimento, ele fala das mudanças ocorridas em seu corpo devido à microgravidade e da rotina no confinamento. Trata também da interação com sucessivas tripulações que se sucederam na estação espacial durante sua permanência e de experimentos realizados em órbita.

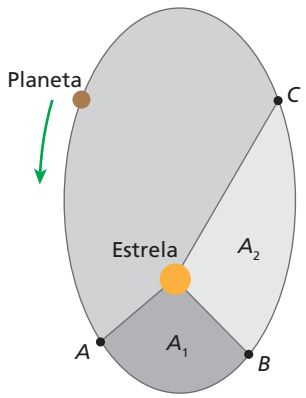
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (UEA-AM) A figura representa a órbita elíptica de determinado planeta em torno de sua estrela. O período de translação desse planeta é T e o intervalo de tempo necessário para que ele percorra o arco AB é $\frac{T}{5}$.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



(Imagem sem escala.)

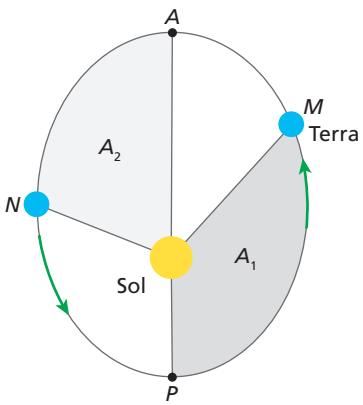
Considerando que as áreas A_1 e A_2 sejam iguais, o intervalo de tempo necessário para que o planeta percorra o arco CA é 1. Alternativa **a**.

a. $\frac{3 \cdot T}{5}$ **c.** $\frac{2 \cdot T}{3}$ **e.** $\frac{3 \cdot T}{4}$

b. $\frac{2 \cdot T}{5}$ **d.** $\frac{T}{5}$

2. (Unifae-SP) O periélio da órbita de um planeta ao redor do Sol é o ponto dessa órbita em que o planeta está o mais próximo possível do Sol. O afélio é o ponto de maior afastamento do planeta em relação ao Sol.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



(Imagem sem escala.)

Em 2014, a Terra passou pelo periélio, ponto P na figura, no início de janeiro e pelo afélio, ponto A, seis meses depois.

Considerando-se que a Terra se move no sentido indicado pelas setas na figura, que as áreas A_1 e A_2 são iguais e que, em 2014, a Terra passou pelo ponto M no início do mês de maio é correto afirmar que, nesse mesmo ano, ela passou pelo ponto N no início do mês de

a. setembro. **d.** agosto.

b. dezembro. **e.** outubro.

c. novembro.

2. Alternativa **c**.

3. Dois satélites artificiais de monitoramento agroambiental, A e B, gravitam em torno da Terra em órbitas circulares e coplanares com o objetivo de prospectar mananciais e áreas apropriadas à produção de alimentos. Sabendo que o período de revolução de A é 27 vezes o de B e que o raio da órbita de B vale R, determine:

a. o raio da órbita de A; 3. a. $R_A = 9R$

b. o intervalo de valores possíveis para a distância que separa os dois satélites durante seus movimentos em torno do planeta. 3. b. $8R \leq d \leq 10R$

4. A Terra tem apenas um satélite natural, a Lua, cujo período de revolução ao redor do planeta é cerca de 27 dias. Sua órbita, admitida circular, tem raio próximo de $60R$, em que R é o raio médio da Terra. Os satélites artificiais geoestacionários (em uma posição fixa em relação a determinado ponto da superfície terrestre) orbitam a Terra em trajetórias circulares. Considere a Terra esférica e com raio $R = 6.370$ km. A respeito desses satélites artificiais, é correto afirmar que: 4. Alternativa **d**.

a. seu período de revolução é de 12 horas.

b. têm órbita pertencente ao plano que contém os polos da Terra.

c. se um pêndulo simples for instalado no interior de um desses satélites, este oscilará com um período menor do que oscilaria se estivesse na superfície terrestre.

d. eles orbitam a Terra a uma altitude de aproximadamente $3{,}6 \cdot 10^4$ km.

e. o módulo da velocidade de translação de um satélite geoestacionário ao longo da órbita é, aproximadamente, $2{,}9 \cdot 10^4$ km/h.

5. Considere uma sonda espacial, de dimensões desprezíveis, se afastando da Terra. Inicialmente, a distância entre a sonda e o centro do planeta é igual a d ($d > R$, em que R é o raio da Terra) e a força de atração gravitacional entre a Terra e a sonda tem intensidade f. Com base nessas informações, faça o que se pede.

a. Determine os dados que completam corretamente o quadro a seguir. 5. a. Distância: $4d$; intensidade da força de atração gravitacional: $\frac{f}{4}$, $\frac{f}{9}$

MODELO

Distância	d	$2d$	$3d$	
Intensidade da força de atração gravitacional	f			$\frac{f}{16}$

Relação entre a distância da sonda ao centro do planeta Terra e a intensidade da força de atração gravitacional.

b. Esboce o gráfico da intensidade da força de atração gravitacional entre a Terra e a sonda em função da distância entre o centro do planeta e o artefato.

5. b. O gráfico será uma hipérbole cúbica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Até junho de 2023 foram catalogadas 146 luas orbitando o planeta Saturno, sendo que a maior delas, Titã, está a uma distância média de cerca de 1.200.000 km de Saturno e tem um período de translação de aproximadamente 16 dias terrestres. Tétis é outro dos maiores satélites naturais de Saturno, localizado a uma distância média de cerca de 295.000 km do planeta.

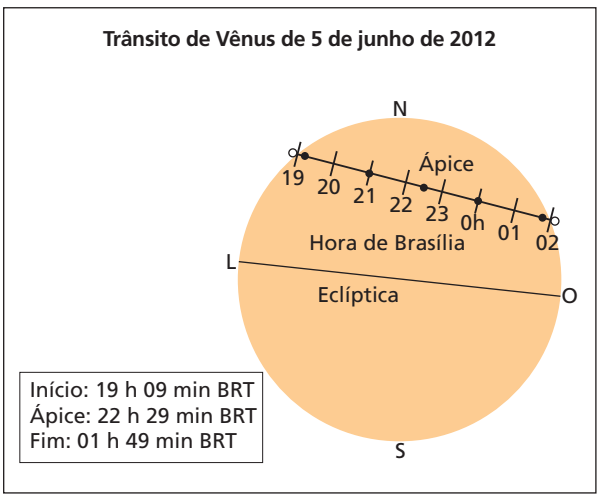
Considerando os dados apresentados no texto, responda.

a. Qual é o período de translação aproximado de Tétis ao redor de Saturno, em dias terrestres? 6. a. 2 dias.

b. Sendo $v_{Tétis}$ o módulo da velocidade tangencial de Tétis ao longo de sua órbita em torno de Saturno e $v_{Titã}$ o módulo da velocidade tangencial de Titã, qual é o valor da relação $\frac{v_{Tétis}}{v_{Titã}}$? 6. b. 2

7. No dia 5 de junho de 2012, pôde-se observar de determinadas regiões da Terra o fenômeno denominado trânsito de Vênus, cuja próxima ocorrência, conforme previsões astronômicas, se dará somente no ano de 2117. Tal efeméride só é possível em virtude de as órbitas de Vênus e da Terra em torno do Sol serem praticamente coplanares e porque o raio médio da órbita de Vênus (0,724 ua) é menor que o raio médio da órbita da Terra (1,000 ua).

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em ESPENAK, F. NASA. Eclipse Web Site. **The 2012 transit of Venus**, 28 fev. 2012. Disponível em: https://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/transit12.html. Acesso em: 8 out. 2024.

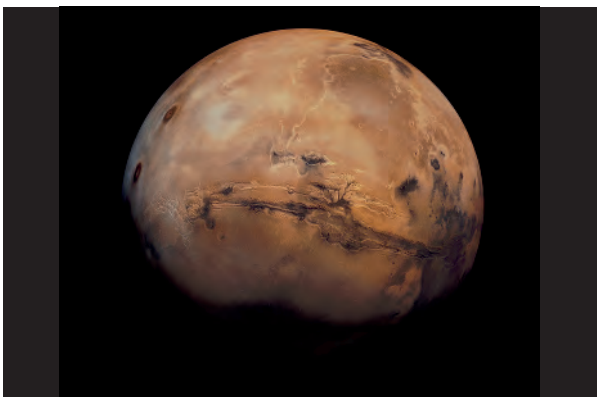
Representação esquemática do trânsito de Vênus de 5 de junho de 2012, de acordo com a hora oficial de Brasília. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Admitindo-se circulares as órbitas de Vênus e da Terra e que a Terra percorre sua órbita com velocidade tangencial de módulo muito próximo de 30,0 km/s, determine:

a. o módulo da velocidade tangencial com que Vênus percorre sua órbita; 7. a. 35,2 km/s

b. o comprimento do arco de órbita percorrido por Vênus em seu trânsito diante do Sol. Despreze nesse cálculo os efeitos de paralaxe inerentes ao movimento orbital da Terra. 7. b. 844.800 km

8. Marte é conhecido como planeta vermelho, devido à sua tonalidade avermelhada quando observado da Terra. Isso se deve, principalmente, à abundância de óxido de ferro em sua superfície e às severas tempestades de areia, provocadas por fortes ventos que podem chegar a 170 km/h. Dessa forma, a atmosfera marciana, constituída, sobretudo, por dióxido de carbono, nitrogênio e argônio, fica impregnada de partículas sólidas em suspensão, o que corrobora com essa característica avermelhada.



JPL-CALTECH/NASA

Composição de mais de 100 fotografias do planeta Marte obtidas da sonda espacial Viking Orbiter, um projeto da Nasa, na década de 1970.

Desconsiderando o movimento de rotação dos planetas e sabendo que a massa da Terra é cerca de dez vezes a de Marte e que o raio terrestre corresponde aproximadamente ao dobro do marciano, e levando-se em conta que a intensidade da aceleração da gravidade na superfície da Terra seja de 10,0 m/s^2, responda.

a. Qual é a intensidade da aceleração da gravidade na superfície de Marte? 8. a. 4,0 m/s^2

b. Se um pequeno objeto lançado verticalmente para cima na Terra atinge uma altura máxima de 2,0 m, qual é a altura máxima que esse objeto atingiria se o lançamento fosse realizado em Marte, em condições idênticas? Despreze os efeitos atmosféricos sobre os movimentos. 8. b. 5,0 m

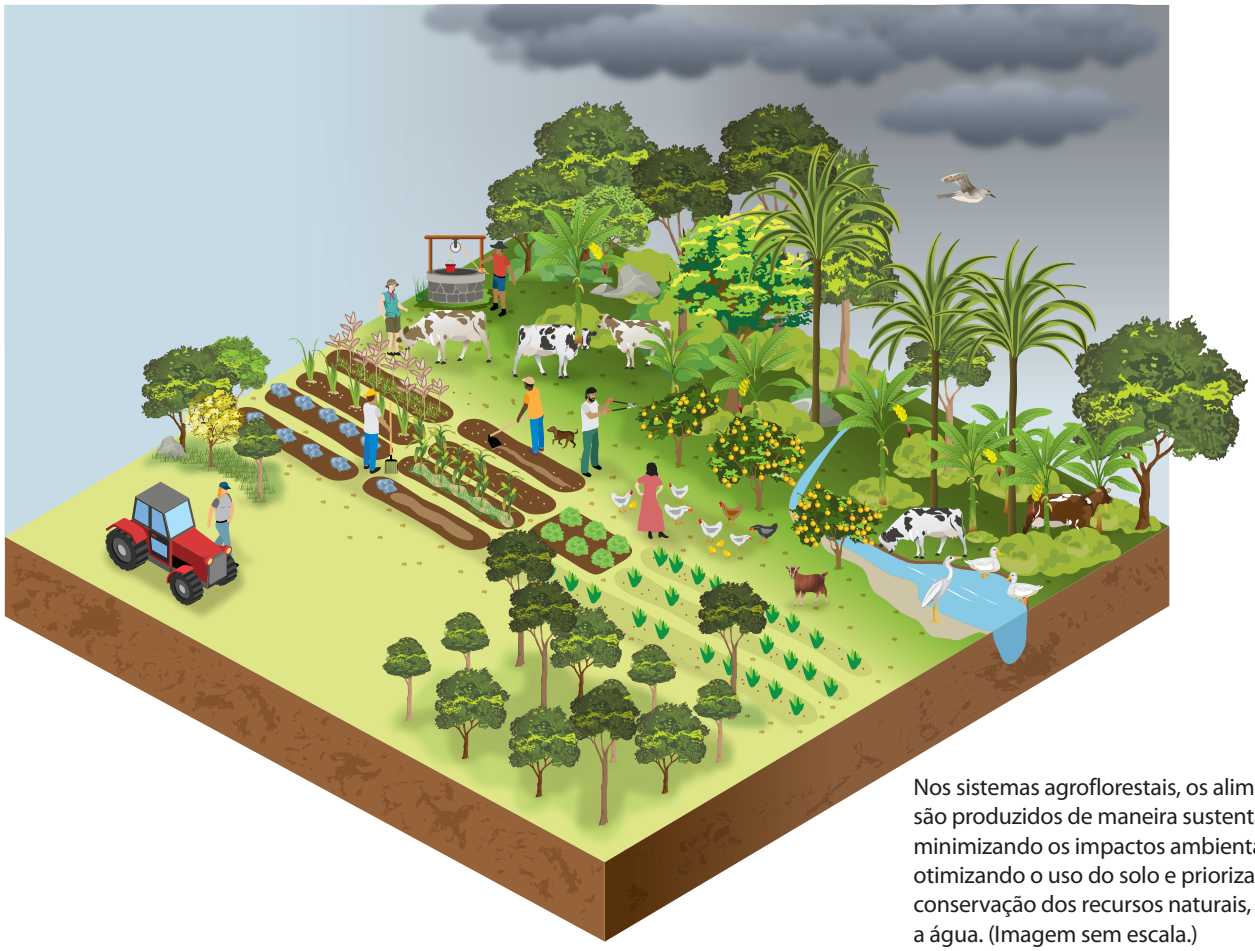
9. Os satélites artificiais podem apresentar diferentes tipos de órbita, que variam de acordo com as tecnologias e as funções de cada um. Entre os tipos de órbita possíveis destacam-se as geoestacionárias, que acompanham o movimento de rotação da Terra; as polares, apropriadas ao monitoramento agroambiental do planeta; e as órbitas baixas, que apresentam pequenas altitudes e períodos orbitais curtos, podendo completar diversas voltas ao redor do planeta ao longo de um dia. A Estação Espacial Internacional (EEI) é um exemplo de satélite de órbita baixa, com uma altitude média de, aproximadamente, $4{,}0 \cdot 10^5$ m. Determine a intensidade da velocidade orbital da EEI e compare-a com a intensidade da velocidade orbital de um satélite geoestacionário ($\simeq$ 11.000 km/h). Considere: $G \simeq 6{,}7 \cdot 10^{-11}$ m^3/(kg $\cdot$ s^2); $M_{Terra} \simeq 6{,}0 \cdot 10^{24}$ kg; $R_{Terra} \simeq 6{,}4 \cdot 10^6$ m. 9. 27.720 km/h

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 10

Equilíbrio e máquinas simples

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Nos sistemas agroflorestais, os alimentos são produzidos de maneira sustentável, minimizando os impactos ambientais, otimizando o uso do solo e priorizando a conservação dos recursos naturais, como a água. (Imagem sem escala.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O conceito de equilíbrio está diretamente relacionado à estabilidade, sendo crucial para o funcionamento adequado de diversos sistemas naturais, desde o corpo humano até os ciclos biogeoquímicos e a regulação do clima terrestre. Esses mecanismos de equilíbrio são essenciais para a manutenção da vida na Terra, garantindo que todos os processos naturais se mantenham adequados e equilibrados.

A relação entre o ser humano e o ambiente é fundamental para o equilíbrio ambiental e a sustentabilidade dos ecossistemas. Os sistemas agroflorestais exemplificam como essa interação pode ser desenvolvida de maneira eficaz. Ao integrar a produção agrícola com o manejo de árvores e florestas, esses sistemas promovem a biodiversidade, melhoram a qualidade do solo, regulam o microclima local e reduzem a erosão do solo. Além disso, aumentam a capacidade de retenção de água e reforçam a resistência dos ecossistemas às mudanças climáticas, favorecendo um equilíbrio sustentável entre desenvolvimento econômico e conservação da natureza.

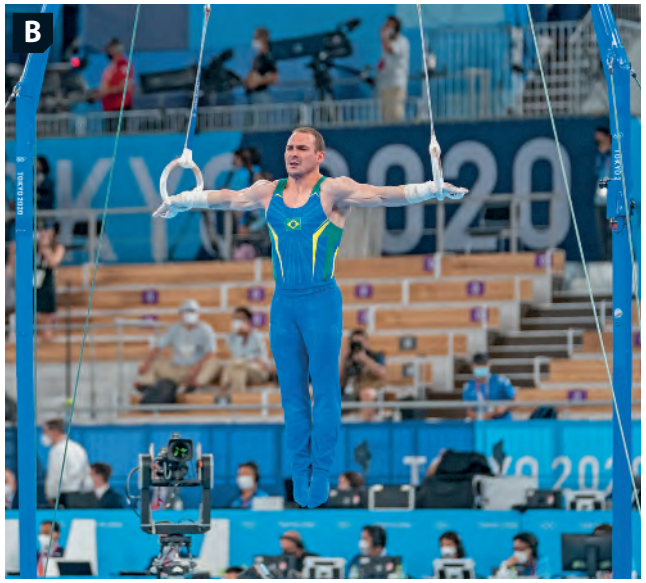
Essa relação de equilíbrio também se manifesta no uso de máquinas simples, como as empregadas no manejo da terra. Mas quais são as condições necessárias para que um corpo seja considerado em equilíbrio, de acordo com as leis da Física?

Neste capítulo, vamos estudar os conceitos que nos possibilitam compreender as condições de equilíbrio estático de pontos materiais e corpos extensos, e como esses conceitos são aplicados no estudo das máquinas simples.

Equilíbrio estático

O que há em comum entre a ponte e o ginasta fazendo o exercício cruz nas argolas?

CARLOS GRILLO/GETTY IMAGES



RICHARD CALLIS/FOTOARENA

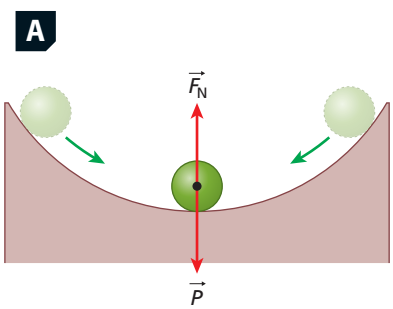
(A) Ponte Rio Negro, localizada em Manaus, AM (2020). **(B)** Ginasta brasileiro Arthur Zanetti realizando o exercício cruz. Na ginástica artística, esse exercício é executado nas argolas (Tóquio, Japão, 2021).

Enquanto o ginasta está fazendo o exercício cruz, ele se mantém em **equilíbrio**, assim como a ponte. Tanto no ginasta como na ponte, há a aplicação de diversas forças, em destaque a força peso. A intensidade dessas forças e a distribuição delas em relação aos pontos de apoio para manter os corpos em uma condição de **equilíbrio estático** seguem regras que serão estudadas com detalhes ao longo deste capítulo. Há três tipos de equilíbrio estático: **estável**, **instável** e **indiferente**, como analisaremos a seguir.

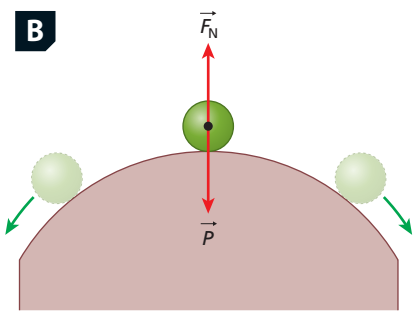
Considere uma esfera apoiada sobre uma superfície côncava, como mostra a figura A. Quando a esfera está em repouso ($v = 0$), a soma das forças que agem sobre ela é nula. Note que, se a esfera for deslocada de sua posição de equilíbrio, ela tende a retornar a essa posição. Nesse caso, dizemos que a esfera em repouso está em **equilíbrio estável**.

Considere agora uma esfera no topo de uma superfície convexa, como mostra a figura B. Quando a esfera está em repouso ($v = 0$), a soma das forças que agem sobre ela é nula. Note que, se a esfera for deslocada de sua posição de equilíbrio, ela não vai retornar à posição de repouso inicial. Nesse caso, dizemos que, no topo da superfície convexa, a esfera está em **equilíbrio instável**.

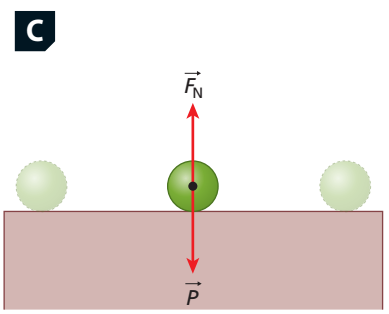
Na figura C, temos agora a mesma esfera em uma superfície plana. Na posição indicada na imagem, a soma das forças que agem sobre a esfera é nula, e ela está em repouso ($v = 0$). Note que, se a esfera for deslocada para qualquer posição dessa superfície, as forças voltam a se equilibrar e a esfera fica em uma nova posição de equilíbrio. Nesse caso, dizemos que, nessa superfície, a esfera está em **equilíbrio indiferente**.



Representação esquemática de uma esfera em equilíbrio estável.



Representação esquemática de uma esfera em equilíbrio instável.



Representação esquemática de uma esfera em equilíbrio indiferente.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

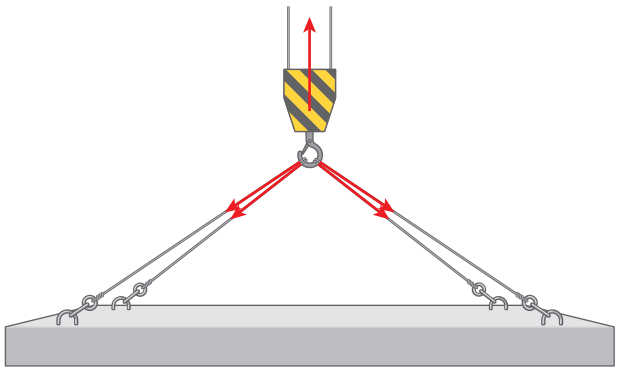
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Corpo extenso, ponto material e condições de equilíbrio

Qualquer objeto pode ser considerado um corpo, mas chamamos de **corpo extenso** aquele que tem dimensões (extensões) relevantes para determinado estudo – no nosso caso, o estudo de seu equilíbrio.

Caso as dimensões do objeto não sejam relevantes, chamamos o objeto de **ponto material**.

No estudo das condições de equilíbrio, a principal diferença entre um ponto material e um corpo extenso consiste no fato de que, no caso do ponto material, nos preocupamos apenas com o equilíbrio em relação à translação, que é o movimento que o corpo faz de um ponto a outro. Afinal, se as dimensões do corpo não são relevantes, não há como caracterizar o movimento de rotação, ou seja, o movimento do corpo ao girar ao redor de seu próprio eixo. No caso de um corpo extenso, nos preocupamos com as condições de equilíbrio relativas à translação e à rotação. O corpo em equilíbrio estático não se move de um ponto a outro, em nenhuma direção, tampouco gira ao redor de um eixo de rotação.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Na situação representada, o gancho é considerado um ponto material. (Imagem sem escala.)

Equilíbrio de um ponto material

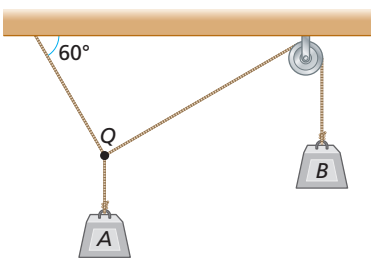
A figura mostra as forças que atuam em um gancho de guindaste que eleva uma placa.

A respeito desse gancho, diferentemente da placa que ele eleva, queremos saber apenas se será acelerado para cima, para baixo, para a esquerda ou para a direita. Em outras palavras, queremos saber se haverá translação do gancho ou não. Portanto, ele pode ser considerado um ponto material. Nesse caso, e no de qualquer ponto material em equilíbrio estático, para que ele não seja acelerado em nenhuma direção, a soma vetorial das forças aplicadas deve ser nula.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

Exemplo

Considerando os dois blocos suspensos da figura a seguir, qual deve ser a massa do bloco *B* para que o sistema se mantenha em equilíbrio, considerando que o bloco *A* tem massa de 10 kg? Adote: sen 30° = cos 60° = 0,50; sen 60° = cos 30° = 0,87; $g = 10\ m/s^2$.

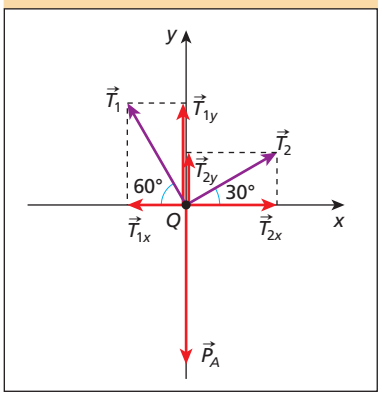


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de dois blocos suspensos por uma corda e uma polia. (Imagem sem escala.)

Vamos identificar as forças que atuam no ponto *Q*, representando os vetores em um plano cartesiano.

Forças no plano cartesiano



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Forças que atuam no ponto *Q*.

Das componentes no eixo *x*, temos:

$$T_{2x} - T_{1x} = F_{R(x)}$$

Como o sistema está em equilíbrio, $F_{R(x)} = 0$; logo:

$$T_{2x} - T_{1x} = T_2 \cdot \cos 30° - T_1 \cdot \cos 60° = 0$$

Das componentes no eixo *y*, temos:

$$T_{1y} + T_{2y} - P_A = F_{R(y)}$$

Novamente, como o sistema está em equilíbrio, $F_{R(y)} = 0$; logo:

$$T_{1y} + T_{2y} - P_A = T_1 \cdot \text{sen } 60° + T_2 \cdot \text{sen } 30° - 100\ N = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_1 \cdot \text{sen } 60° + T_2 \cdot \text{sen } 30° = 100\ N$$

Portanto, obtemos o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} T_2 \cdot \cos 30° - T_1 \cdot \cos 60° = 0 \\ T_1 \cdot \text{sen } 60° + T_2 \cdot \text{sen } 30° = 100\ N \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_2 \cdot 0{,}87 - T_1 \cdot 0{,}50 = 0 \quad (1) \\ T_1 \cdot 0{,}87 + T_2 \cdot 0{,}50 = 100\ N \quad (2) \end{cases}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Da equação (1), temos:

$$T_2 \cdot 0{,}87 = T_1 \cdot 0{,}50 \Rightarrow T_2 \simeq T_1 \cdot 0{,}57$$

Substituindo T_2 na equação (2), obtemos:

$$T_1 \cdot 0{,}87 + (T_1 \cdot 0{,}57) \cdot 0{,}50 = 100\ \text{N} \Rightarrow T_1 \cdot 0{,}87 + T_1 \cdot 0{,}28 = 100\ \text{N} \Rightarrow T_1 \cdot 1{,}15 = 100\ \text{N} \therefore T_1 \simeq 87\ \text{N}$$

Substituindo o valor de T_1 na equação (1), obtemos:

$$T_2 \cdot 0{,}87 - 87\ \text{N} \cdot 0{,}50 = 0 \Rightarrow T_2 \cdot 0{,}87 \simeq 43{,}5\ \text{N} \therefore T_2 \simeq 50\ \text{N}$$

Considerando a figura do enunciado, sabemos que $T_2 = P_B$; portanto, a massa do bloco B deve ser:

$$P_B = m_B \cdot g \Rightarrow 50\ \text{N} = m_B \cdot 10\ \text{m/s}^2 \therefore m_B = 5\ \text{kg}$$

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Um ponto material pode estar em equilíbrio estático quando apenas uma força age sobre ele? Por quê? 1. Não, pois a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre ele deve ser igual a zero. Isso não é possível com apenas uma força não nula atuando sobre o ponto material.

2. Considerando um ponto material em equilíbrio estático, qual das afirmações a seguir está correta?

a. A resultante das forças que agem sobre o ponto material é diferente de zero. 2. Alternativa **d**.

b. O ponto material se desloca com velocidade constante.

c. A resultante das forças faz com que o ponto material gire ao redor de um eixo de rotação.

d. O ponto material está em repouso.

Momento de uma força

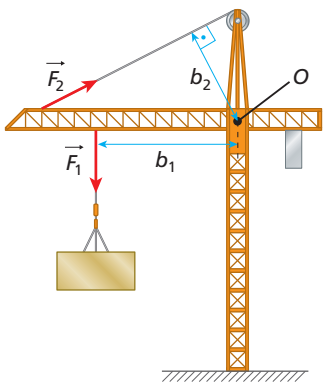
Ao girar a maçaneta para abrir uma porta ou ao trocar o pneu de um carro com o auxílio de uma ferramenta, tendemos a aplicar uma força o mais distante possível do eixo de rotação desses corpos. Para trocar o pneu de um carro, podemos usar uma chave de roda, como mostra a figura.

TATOMM/GETTY IMAGES

Chave de roda aplicada na troca de um pneu. O eixo de rotação do pneu está no eixo da roda.

A chave de roda é composta de um **braço de alavanca** que permite aplicar a força o mais distante possível do eixo de rotação do parafuso, facilitando sua rotação. A ação que envolve a força e a tendência, ou a capacidade de uma força para girar um corpo ou alterar o estado de rotação de um corpo, é chamada de **momento de uma força** ou **torque**.

Já o guindaste na figura a seguir está suspendendo uma carga. Há na barra horizontal diversas forças sendo aplicadas. Vamos primeiro considerar a força aplicada no cabo que sustenta a carga $(\vec{F}_1)$. Essa força age para girar a barra horizontal no sentido anti-horário, ao redor do ponto O, denominado **polo** ou **fulcro**. Dizemos, então, que há um momento dessa força, e chamamos de **braço** a distância entre a linha de ação da força e o polo (ponto O).



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das forças agindo nos cabos do guindaste. (Imagem sem escala.)

No exemplo do guindaste, quanto maior o braço (b_1), maior é o efeito da força na rotação da barra horizontal e, consequentemente, maior é o momento da força ao redor do ponto O.

Ainda considerando o mesmo exemplo, o momento da força $\vec{F}_2$ no cabo inclinado age para girar a barra horizontal no sentido horário, ao redor do mesmo ponto O. Mesmo que a força $\vec{F}_1$ tenha a mesma intensidade da força $\vec{F}_2$, a intensidade do momento da força $\vec{F}_2$ é menor, uma vez que o braço b_2 é menor que b_1.

Para calcular a intensidade do momento de uma força $\vec{F}$ em relação a um ponto O, podemos definir a intensidade do momento da força (M) em função da intensidade da força (F) e do braço (b):

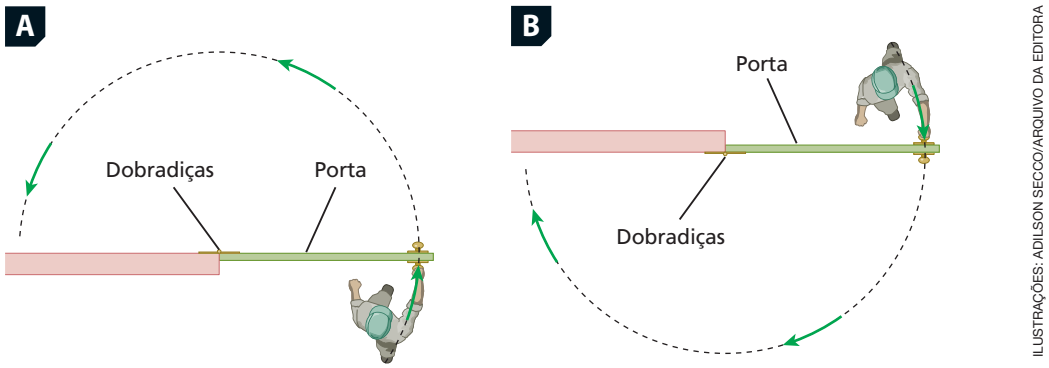
$$M = \pm F \cdot b$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o momento de uma força é dado em N · m.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os sinais positivo e negativo se devem à definição do momento.

- **Positivo** ($M > 0$), se a força que atua sobre o corpo gerar uma tendência de giro ou uma rotação no **sentido anti-horário**.
- **Negativo** ($M < 0$), se a força que atua sobre o corpo gerar uma tendência de giro ou uma rotação no **sentido horário**.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

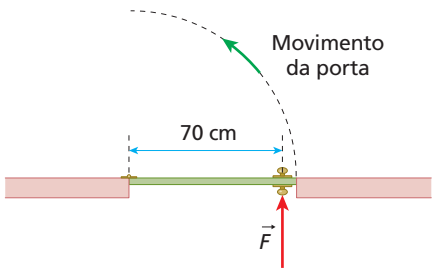
(A) Momento positivo ($M > 0$): giro ou rotação no sentido anti-horário. **(B)** Momento negativo ($M < 0$): giro ou rotação no sentido horário. (Imagens sem escala.)

Exemplo

Considere uma sala que tenha uma porta com 2,10 m de altura e 72 cm de largura.

a. Qual é a intensidade do momento da força para abrir a porta, supondo que a maçaneta esteja a 70 cm da dobradiça (eixo de rotação da porta) e que uma força $(\vec{F})$ de intensidade 100 N é aplicada?

Analisando o enunciado e a figura, temos $b = 70\text{ cm} = 0{,}70\text{ m}$ e $M > 0$, uma vez que o sentido do giro é anti-horário. Dessa forma, podemos calcular a intensidade do momento da força como:



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação do movimento da porta da sala. (Imagem sem escala.)

$$M = +F \cdot b \Rightarrow M = 100\text{ N} \cdot 0{,}70\text{ m} \therefore M = 70\text{ N m}$$

b. Qual seria a intensidade da força para abrir a porta com o mesmo valor de momento calculado anteriormente, mas supondo que a maçaneta esteja à distância de 35 cm do eixo de rotação?

Supondo que a maçaneta esteja à distância de 35 cm do eixo de rotação, ou seja, $b = 35\text{ cm} = 0{,}35\text{ m}$, e considerando a intensidade do momento calculada anteriormente, 70 N m, temos:

$$M = +F \cdot b \Rightarrow F = \frac{M}{b} \Rightarrow F = \frac{70\text{ N m}}{0{,}35\text{ m}} \therefore F = 200\text{ N}$$

Vantagem mecânica

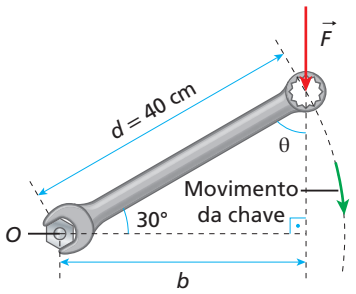
Vantagem mecânica (ou ganho mecânico) é um quociente adimensional, dado pela razão entre a intensidade da força transmitida por uma máquina e a intensidade da força aplicada nela. Um ganho mecânico maior indica que será necessário aplicar menos força para realizar o mesmo trabalho, enquanto um ganho mecânico menor significa que a força aplicada é mais próxima da força necessária para realizar o trabalho diretamente. Dessa forma, o ganho mecânico pode ser entendido como uma "amplificação" da força para facilitar a execução de um trabalho.

A vantagem mecânica envolvendo o momento de uma força, por exemplo, está relacionada à distância entre o ponto em que a força é aplicada e o eixo de rotação do objeto. Note que, quanto maior for o braço de alavanca da força, maior será a intensidade do momento. Assim, se estiver muito difícil girar um parafuso com uma chave de roda, por exemplo, experimente usar outra mais comprida ou um objeto que sirva de prolongador da chave.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Uma pessoa está fazendo uma instalação hidráulica e precisa apertar uma porca em uma torneira. A pessoa utiliza uma chave de boca para apertar a porca e aplica uma força $\vec{F}$ de intensidade 20 N na direção vertical e no sentido de cima para baixo na extremidade da chave, como mostra a figura a seguir.



Representação da chave de boca usada para apertar a porca, em que *b* é o braço de alavanca (distância entre o ponto *O* e a linha de ação da força). (Imagem sem escala.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Nessa situação, qual é a intensidade do momento da força aplicada pela pessoa?

Analisando a figura, temos $d = 40\text{ cm} = 0{,}40\text{ m}$, $\theta = 60°$ e $M < 0$, com sentido de giro horário em relação ao ponto *O*.

Primeiro, vamos determinar a medida do braço de alavanca.

$b = d \cdot \operatorname{sen} 60° \Rightarrow b = 0{,}40\text{ m} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore b \simeq 0{,}35\text{ m}$

Agora, podemos calcular a intensidade do momento da força.

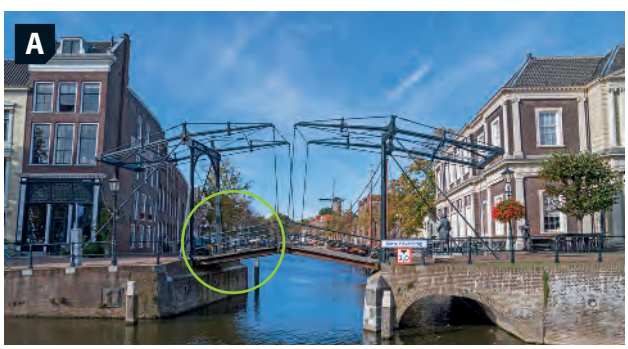
$M = -F \cdot b \Rightarrow M = -20\text{ N} \cdot 0{,}35\text{ m} \therefore M = -7\text{ N m}$

b. Para a mesma intensidade da força aplicada, 20 N, qual deve ser sua direção de aplicação, em relação à chave, para que a intensidade do momento seja máxima?

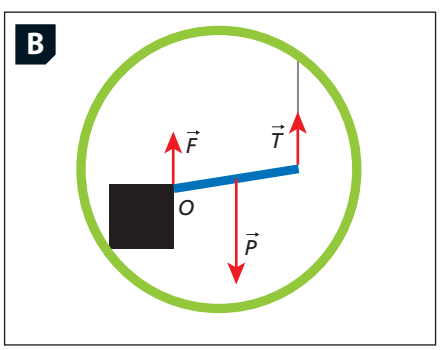
Com relação à direção da força, para que a intensidade do momento seja máxima, a força aplicada deve formar um ângulo de 90° com a chave, pois nessa posição o braço de alavanca é o maior possível.

Equilíbrio de um corpo extenso

A ponte levadiça da figura a seguir é içada por meio de uma força de tração aplicada em uma de suas extremidades.



REMKE LUITJES/GETTY IMAGES



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Ponte levadiça em Schiedam, Países Baixos (2023). **(B)** Representação esquemática das forças aplicadas na extremidade da ponte em destaque. (Imagens sem escala.)

A figura B representa uma das extremidades da ponte e três forças aplicadas: o peso, a tração e a força na articulação. Em relação à articulação (ponto *O*), a força $\vec{F}$ tem momento nulo, uma vez que o braço dessa força tem medida igual a zero. A tração $\vec{T}$ tem momento positivo, já que tende a girar a plataforma no sentido anti-horário em relação ao ponto *O*. O peso $\vec{P}$ tem momento negativo, pois a tendência de giro causada pelo peso tem sentido horário.

Note que as forças aplicadas no polo escolhido, nesse caso, o ponto *O*, ou com linha de ação passando por esse polo, não produzem momento.

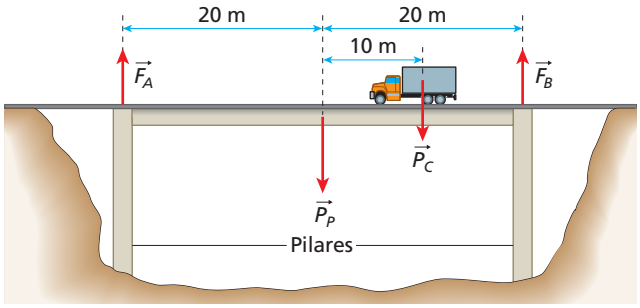
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para que a ponte fique em equilíbrio, assim como qualquer outro corpo extenso, devemos garantir que:

- a resultante das forças que agem sobre o corpo seja nula $(\Sigma\vec{F} = \vec{0})$. Nesse caso, o corpo está em **equilíbrio de translação**;
- a soma das intensidades de todos os momentos das forças que atuam sobre o corpo, em relação ao eixo de rotação, seja nula ($\Sigma M = 0$). Nesse caso, o corpo está em **equilíbrio de rotação**.

Exemplo

Uma ponte de 40 m, com um pilar em cada extremidade, deve suportar o próprio peso de 10^6 N e o de um caminhão de $2 \cdot 10^5$ N parado a 10 m de um dos pilares. Qual é a intensidade da força exercida em cada um dos pilares, considerando que o sistema está em equilíbrio?



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das forças que atuam no sistema em equilíbrio. A ponte deve suportar o próprio peso e o peso do caminhão. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

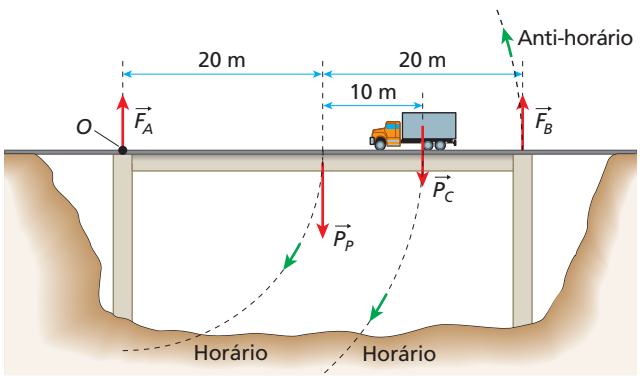
Como o sistema está em equilíbrio de translação, ou seja, todos os corpos estão parados, pois não há aceleração, a soma das forças é igual a zero $(\Sigma\vec{F} = \vec{0})$. Adotando como positivo o sentido para cima, temos:

$$F_A + F_B - P_C - P_P = 0 \Rightarrow F_A + F_B = P_C + P_P \Rightarrow F_A + F_B = 2 \cdot 10^5\ \text{N} + 1 \cdot 10^6\ \text{N} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_A + F_B = 2 \cdot 10^5\ \text{N} + 10 \cdot 10^5\ \text{N} \therefore F_A + F_B = 12 \cdot 10^5\ \text{N}$$

Uma observação importante a se fazer é que, ao adotarmos para o ponto de aplicação do peso da ponte seu centro geométrico, admite-se uma distribuição uniforme de toda sua massa. De fato, para corpos simétricos e com distribuição de massa uniforme, o centro geométrico coincide com seu centro de massa, um ponto em que se considera que toda a massa do corpo esteja concentrada.

Adotando como eixo de rotação o ponto em que age a força $\vec{F}_A$, temos uma tendência de giro para cada uma das forças, como mostra a figura.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da tendência de giro (horário ou anti-horário) para cada uma das forças que atuam no sistema em equilíbrio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como o sistema está parado, também temos equilíbrio de rotação ($\Sigma M = 0$).

A força $\vec{F}_A$ não tem influência de giro sobre o ponto *O*; assim, adotando o sentido anti-horário como positivo e o horário como negativo, temos:

$$(F_A \cdot 0) + (F_B \cdot 40\ \text{m}) - (P_P \cdot 20\ \text{m}) - (P_C \cdot 30\ \text{m}) = 0 \Rightarrow F_B \cdot 40\ \text{m} = P_P \cdot 20\ \text{m} + P_C \cdot 30\ \text{m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_B = \frac{10 \cdot 10^5\ \text{N} \cdot 20\ \text{m} + 2 \cdot 10^5\ \text{N} \cdot 30\ \text{m}}{40\ \text{m}} \therefore F_B = 6{,}5 \cdot 10^5\ \text{N}$$

Uma solução equivalente é igualar as intensidades dos momentos no sentido horário às intensidades dos momentos no sentido anti-horário; assim:

$$\Sigma M_{\text{horário}} = \Sigma M_{\text{anti-horário}} \Rightarrow (P_P \cdot 20\ \text{m}) + (P_C \cdot 30\ \text{m}) = (F_B \cdot 40\ \text{m}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (10^6\ \text{N} \cdot 20\ \text{m}) + (2 \cdot 10^5\ \text{N} \cdot 30\ \text{m}) = (F_B \cdot 40\ \text{m}) \Rightarrow (10^6\ \text{N} \cdot 20\ \text{m}) + (6 \cdot 10^6\ \text{N m}) = (F_B \cdot 40\ \text{m}) \Rightarrow$$

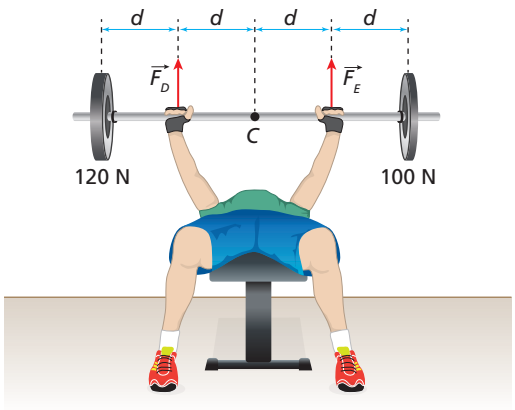
$$\Rightarrow (26 \cdot 10^6\ \text{N m}) = (F_B \cdot 40\ \text{m}) \Rightarrow F_B = \frac{26 \cdot 10^6}{40}\ \text{N} \therefore F_B = 0{,}65 \cdot 10^6\ \text{N} = 6{,}5 \cdot 10^5\ \text{N}$$

Assim: $F_A + F_B = 12 \cdot 10^5\ \text{N} \Rightarrow F_A + 6{,}5 \cdot 10^5\ \text{N} = 12 \cdot 10^5\ \text{N} \therefore F_A = 5{,}5 \cdot 10^5\ \text{N}$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

(FMABC-SP) Ao praticar exercícios com barra, uma pessoa, inadvertidamente, colocou peso maior em um dos lados da barra, como mostra a figura.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando que a barra seja homogênea, indeformável e de peso 100 N e que o ponto *C* seja o centro geométrico da barra, as intensidades das forças, supostas verticais, F_D e F_E, que a pessoa deve aplicar na barra para mantê-la em equilíbrio na posição horizontal valem, respectivamente,

a. 200 N e 120 N.

b. 170 N e 150 N.

c. 160 N e 160 N.

d. 180 N e 140 N.

e. 190 N e 130 N.

Destaque para os estudantes, ao realizar essa etapa da resolução da atividade, como eles podem aplicar o pilar "decomposição" do pensamento computacional.

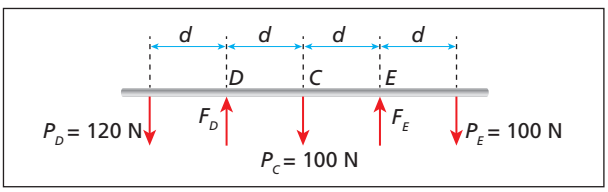
Analisar o enunciado

Para manter a barra em equilíbrio na posição vertical, a pessoa deve aplicar forças, supostas verticais, de intensidades F_D e F_E. Para facilitar a resolução do problema, vamos fazer sua decomposição; primeiro, vamos determinar a força aplicada à mão esquerda (F_E) e depois a força aplicada à mão direita (F_D).

Destaque para os estudantes como o pilar "abstração" do pensamento computacional pode ser aplicado nessa etapa da resolução da atividade.

Selecionar as informações relevantes

A barra é simétrica, indeformável e sua distribuição de massa é considerada homogênea; logo, seu centro geométrico coincide com seu centro de massa. Esse será o ponto de aplicação do peso da barra.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das forças que atuam no sistema em equilíbrio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A barra pode ser considerada um corpo extenso, cujas condições de equilíbrio são dadas por:

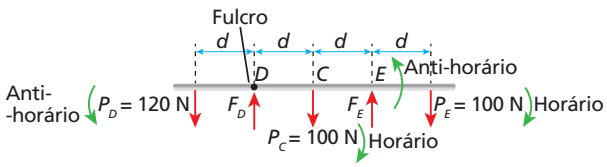
$\Sigma M = 0$ (equilíbrio de rotação)

$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$ (equilíbrio de translação)

Mostre aos estudantes como o pilar "reconhecimento de padrões" do pensamento computacional pode ser aplicado nessa etapa da resolução da atividade.

Aplicar o conceito estudado

Na situação apresentada, a barra deve se manter perfeitamente em equilíbrio na posição horizontal; assim, para conseguirmos resolver esse problema adequadamente, consideramos as condições necessárias de equilíbrio tanto de rotação quanto de translação que afetam um corpo extenso (a barra).



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da tendência de giro (horário ou anti-horário) para cada uma das forças que atuam no sistema em equilíbrio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Para o cálculo dos momentos, podemos escolher o polo, ou fulcro, mais conveniente. Vamos escolher o ponto *D*, assim o momento da força de intensidade F_D será nulo, pois a força F_D está aplicada no próprio polo.

Para determinar a força de intensidade F_E, podemos aplicar a equação de equilíbrio de rotação.

$\Sigma M = 0 \Rightarrow \Sigma M_{\text{horário}} = \Sigma M_{\text{anti-horário}} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_C \cdot d + P_E \cdot 3d = P_D \cdot d + F_E \cdot 2d \Rightarrow$

$\Rightarrow 100\ \text{N} \cdot d + 100\ \text{N} \cdot 3d = 120\ \text{N} \cdot d + F_E \cdot 2d \Rightarrow$

$\Rightarrow 400\ \text{N} = 120\ \text{N} + 2F_E \Rightarrow 2F_E = 280\ \text{N}$

$\therefore F_E = 140\ \text{N}$

Para determinar a força de intensidade F_D, aplicamos a equação de equilíbrio de translação.

$\Sigma \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow F_D + F_E = P_E + P_D + P_B \Rightarrow$

$\Rightarrow F_D + F_E = 100\ \text{N} + 120\ \text{N} + 100\ \text{N} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_D + 140\ \text{N} = 320\ \text{N}$

$\therefore F_D = 180\ \text{N}$

Verificar a solução

De fato, a intensidade da força F_D deve ser maior do que a força de intensidade F_E, pois o peso maior foi aplicado do lado da mão direita do atleta.

Alternativa **d**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

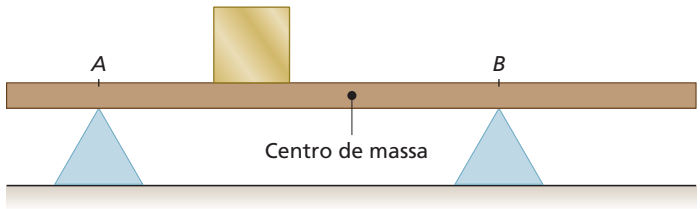
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Porque a intensidade do momento de uma força é proporcional ao comprimento do braço da alavanca.

3. Por que as maçanetas das portas geralmente são fixadas em um ponto oposto ao eixo de giro da porta? Justifique sua resposta com base no conceito de momento de uma força.

4. Reproduza a figura a seguir esquematicamente em seu caderno e represente todas as forças que atuam na barra do sistema para mantê-lo em equilíbrio estático. 4. Construção de diagrama de corpo livre.



Representação de um sistema em equilíbrio estático.

5. Uma pessoa de 50 kg está parada no meio de um andaime suspenso por duas cordas ideais, uma em cada ponta, com força de tração de intensidade 400 N em cada uma. Considerando o sistema em equilíbrio estático, qual é o peso do andaime? Para a intensidade da aceleração da gravidade, adote $g = 10\ m/s^2$. 5. 300 N

Representação esquemática de uma pessoa parada sobre um andaime suspenso por duas cordas com forças de tração de mesma intensidade. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

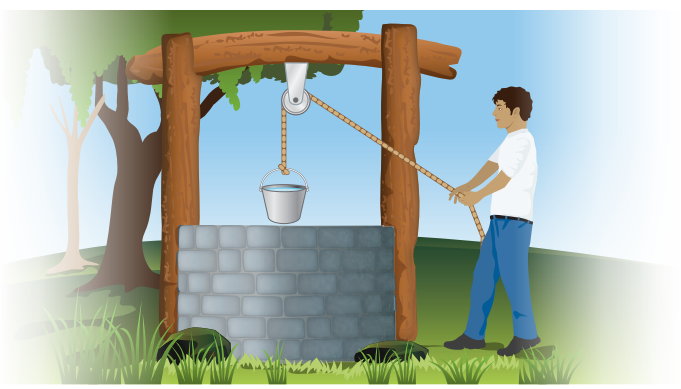
OBJETO DIGITAL
Carrossel de imagens: Máquinas simples no cotidiano

Máquinas simples

Nossa vida é rodeada de máquinas, das mais simples às mais sofisticadas. Podemos definir **máquina**, em Mecânica, como um dispositivo que altera a direção e/ou a intensidade de uma força, com o objetivo de realizar uma tarefa específica. Em geral, dispositivos mecânicos de maior complexidade são constituídos por diversas máquinas mais básicas, chamadas **máquinas simples**. Essas máquinas, como alavancas, polias e planos inclinados, têm sido essenciais desde as primeiras civilizações, impulsionando o desenvolvimento de diversas sociedades. Hoje, elas continuam a desempenhar um papel crucial em várias áreas, promovendo a sustentabilidade ao otimizar o uso de recursos, reduzir a dependência de energia elétrica e aumentar a eficiência em processos industriais e cotidianos. Uma de suas principais características é a vantagem mecânica.

Polia fixa

Para içar o balde no poço mostrado na figura, uma pessoa pode aplicar uma força para baixo na corda, já que a corda passa por uma polia. A **polia** é um tipo de máquina simples composta de uma roda sulcada, geralmente de madeira, metal ou plástico, por onde passa um cabo ou uma corda.



Poço em que um balde é preso a uma corda que passa por uma polia fixa.

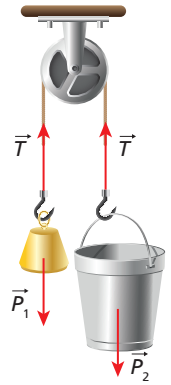
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

O esquema mostrado na figura representa uma polia, um balde e um contrapeso. A polia na imagem é uma **polia fixa**, pois ela está presa a um ponto de apoio, nesse caso, no suporte de madeira. Considerando que a corda tem massa desprezível, quando comparada à massa do sistema, podemos provar que, independentemente da altura relativa entre o balde e o contrapeso, o sistema se equilibra quando o contrapeso e o balde têm pesos iguais.

Vamos analisar as forças necessárias para que o balde fique em equilíbrio. A força de tração deve ter a mesma intensidade que o peso do balde. Na outra ponta da corda, na qual está o contrapeso, se há equilíbrio, a intensidade do peso do contrapeso é igual à intensidade da força de tração. Concluímos, então, que a força de tração tem intensidade igual à intensidade do peso do corpo e igual à intensidade do peso do balde.

Dizemos, nesse caso, que a vantagem mecânica da polia fixa é 1, isto é, a razão entre a intensidade da força aplicada e a intensidade da força utilizada para realizar a tarefa, no caso elevar o balde, é igual a 1.

É importante notar que, em todos os pontos de uma corda ou de um fio ideal – isto é, com massa desprezível, flexível e inextensível –, a intensidade da força de tração é a mesma.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das forças que agem no sistema composto de polia fixa, contrapeso, corda e balde. (Imagem sem escala.)

Polia móvel

No sistema de elevação da figura a seguir, o objeto de massa *M* que será erguido é preso a um gancho, que por sua vez está preso a uma polia. Quando esse objeto sobe, a polia também sobe. Esse tipo de polia é chamado de **polia móvel**.

Na situação representada na figura, um objeto de massa *m* equilibra o objeto de massa *M* por meio de uma polia fixa no teto e uma polia móvel presa ao objeto de massa *M*. As massas da corda, das polias e do gancho serão admitidas desprezíveis.

As forças aplicadas no objeto de massa *m* são a força de tração para cima e o peso para baixo. Como esse objeto se encontra em equilíbrio, a força de tração tem a mesma intensidade do peso. Assim:

$$T = P_1$$

No conjunto formado pelo objeto de massa *M* e pela polia móvel, há duas forças de tração atuando para cima e o peso do objeto atuando para baixo. Logo, no equilíbrio, temos:

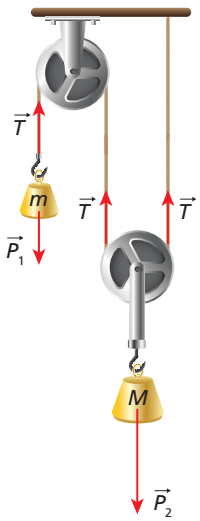
$$P_2 = 2T$$

Comparando as duas equações, concluímos que:

$$P_2 = 2P_1$$

Isso nos permite dizer que, com o auxílio de uma polia móvel, é possível equilibrar um corpo em relação a outro com o dobro do peso. Portanto, nesse caso, temos uma polia móvel com vantagem mecânica igual a 2.

Ao contrário das polias fixas, que apenas alteram a direção da força aplicada, as polias móveis oferecem uma vantagem mecânica maior. O número de polias móveis em um sistema influencia diretamente esse ganho. O ganho mecânico em um sistema de polias móveis é dado pela relação 2^n, em que *n* é o número de polias móveis. Por exemplo, em um sistema com duas polias móveis, o ganho mecânico é $2^2 = 4$. Com três polias móveis, o ganho mecânico aumenta para $2^3 = 8$. Observe que o ganho mecânico revela um fator de eficiência da máquina simples.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de polias móvel e fixa e das forças que atuam em cada uma. (Imagem sem escala.)

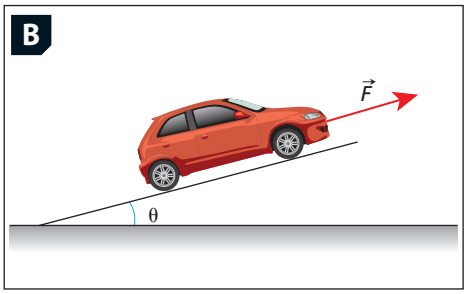
Plano inclinado

O **plano inclinado** é uma máquina simples amplamente utilizada no cotidiano para facilitar a elevação de objetos. Ela reduz a força necessária para mover um objeto ao longo de uma superfície inclinada, em comparação com a força que seria exigida

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

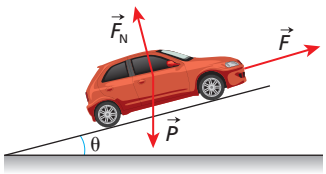
para levantar o mesmo objeto verticalmente. Exemplos comuns incluem rampas de acessibilidade, que permitem o acesso de pessoas com mobilidade reduzida, e rampas de carga, utilizadas para o carregamento e descarregamento de mercadorias em caminhões ou vagões de trem. Para colocar um veículo sobre um caminhão de reboque, usualmente são utilizadas rampas com determinada inclinação em relação à horizontal, por exemplo. Considere um carro de massa *M* apoiado em um plano inclinado e sendo puxado para cima para subir na rampa de um caminhão, como mostram as figuras a seguir.

NEW AFRICA/SHUTTERSTOCK



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Caminhão de reboque equipado com uma rampa. **(B)** Representação esquemática de um carro em cima de uma rampa com inclinação de ângulo θ em relação à horizontal e sob ação de uma força $\vec{F}$. (Imagens sem escala.)



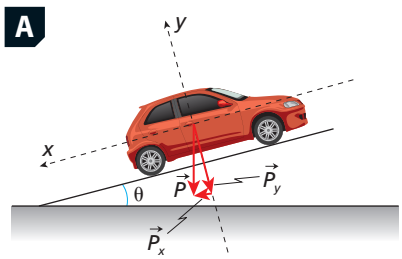
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

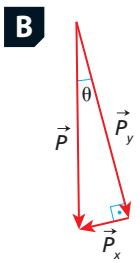
Representação esquemática das forças atuantes sobre o carro no plano inclinado. (Imagem sem escala.)

A força que puxa o carro é transmitida do motor do caminhão para o carro por meio de um cabo de aço com um gancho na ponta. A rampa tem uma inclinação de ângulo θ com a horizontal. Se quisermos que o carro fique parado, desconsiderando as forças de atrito, uma força $\vec{F}$ deve ser aplicada paralelamente ao plano inclinado. Mas qual é a intensidade *F* dessa força?

Primeiro, vamos representar todas as forças aplicadas ao carro parado sobre o plano inclinado, que são: o peso, que é vertical para baixo; a normal, que é perpendicular ao plano; e a força $\vec{F}$ aplicada pelo cabo de aço acionado pelo motor do caminhão.

A força peso pode ser decomposta em duas componentes: uma paralela ao plano, $\vec{P}_x$, e uma perpendicular ao plano, $\vec{P}_y$, como mostra a figura a seguir.





(A) Representação esquemática da decomposição da força peso.

(B) O peso $\vec{P}$ e suas componentes $\vec{P}_x$ e $\vec{P}_y$ formam um triângulo retângulo. (Imagens sem escala.)

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Portanto, desconsiderando as forças de atrito, para obter a intensidade da força com que o carro deve ser puxado pelo guincho para se manter em equilíbrio, devemos calcular $\vec{P}_x$.

Para calcular o módulo dos vetores $\vec{P}_x$ e $\vec{P}_y$ em função de $\vec{P}$ e do ângulo θ, vamos considerar a figura B, que mostra o peso e suas componentes. No triângulo retângulo formado pelas componentes do peso, há um cateto formado por $\vec{P}_y$ e a hipotenusa formada por $\vec{P}$. Como $\vec{P}_y$ é perpendicular ao plano inclinado e $\vec{P}$ é perpendicular à horizontal, o ângulo entre esse cateto e a hipotenusa é igual ao ângulo entre o plano e a horizontal, isto é, θ.

Usando as relações trigonométricas no triângulo retângulo, temos as equações que nos permitem calcular as intensidades P_x e P_y das componentes de $\vec{P}$:

$$P_x = P \cdot \text{sen}\ \theta \text{ e } P_y = P \cdot \cos \theta$$

Portanto, em um plano inclinado, para equilibrar um corpo de peso de intensidade *P*, precisamos aplicar ao longo do plano uma força com intensidade $F = P_x = P \cdot \text{sen}\ \theta$.

A vantagem mecânica em um plano inclinado sem atrito é $(\text{sen}\ \theta)^{-1}$, em que θ é o ângulo de inclinação desse plano com a horizontal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Alavancas

Em sua obra *Vidas paralelas*, o escritor grego Plutarco (46 d.C.-120 d.C.) atribuiu ao filósofo, inventor e matemático grego Arquimedes (287 a.C.-212 a.C.) a seguinte frase: "Dê-me uma alavanca longa o bastante e um ponto de apoio e eu moverei o mundo". Arquimedes dedicava-se ao estudo de conceitos e fenômenos que hoje relacionamos à Geometria e à Física; naquela época, não se fazia a separação dos conhecimentos por áreas como fazemos hoje. Entre os estudos de Arquimedes estão as **alavancas**, que também são máquinas simples. Por meio delas podemos multiplicar a intensidade de forças ou mudar sua direção, com o objetivo de facilitar determinada tarefa.

Abridores de latas e de garrafas e anéis de latas de alumínio são exemplos de objetos do dia a dia que funcionam com base no princípio da alavanca.

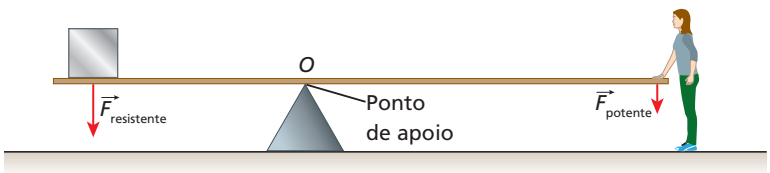
GUS GAN/SHUTTERSTOCK

MIKAEL DAMKIER/SHUTTERSTOCK

(A) Abridor de latas e de garrafas. **(B)** Anéis de latas de alumínio. (Imagens sem escala.)

Quando uma alavanca é utilizada para levantar cargas, duas forças têm momento não nulo:

- a **força potente** $\left(\vec{F}_{\text{potente}}\right)$, que é aplicada para erguer a carga;
- a **força resistente** $\left(\vec{F}_{\text{resistente}}\right)$, que é a força peso da carga.



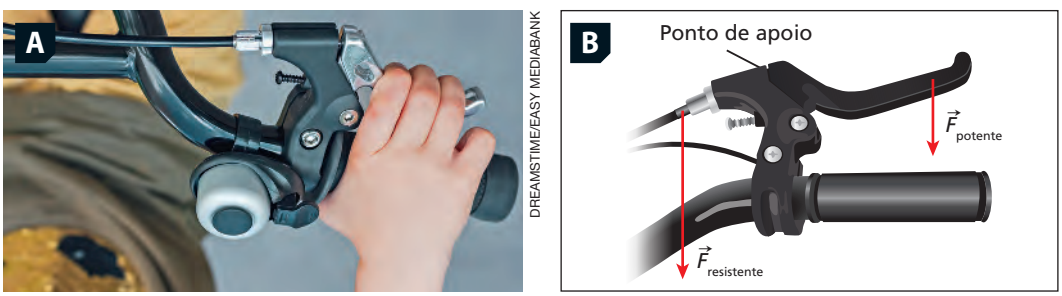
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação das forças que agem sobre uma alavanca utilizada para levantar cargas. (Imagem sem escala.)

Como o braço de $\vec{F}_{\text{potente}}$ é maior que o braço de $\vec{F}_{\text{resistente}}$, no equilíbrio $\vec{F}_{\text{potente}}$ tem intensidade menor que $\vec{F}_{\text{resistente}}$.

Há vários outros tipos de alavanca. De acordo com o ponto de aplicação da força, vamos classificá-las nos três tipos a seguir.

- **Interfixa:** esse tipo de alavanca apresenta um ponto de apoio fixo entre a força resistente e a força potente. Alguns exemplos são: gangorra, tesoura, martelo, guindaste e manetes de freio de bicicleta.



DREAMSTIME/EASY MEDIABANK

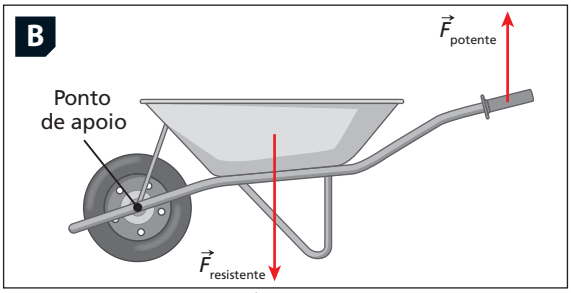
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Manete de freio de uma bicicleta. **(B)** A força potente ($\vec{F}_{\text{potente}}$) é aplicada ao manete pelos dedos e a força resistente ($\vec{F}_{\text{resistente}}$) é a tração do cabo. (Imagens sem escala.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- **Inter-resistente:** esse tipo de alavanca apresenta força resistente entre o ponto de apoio e a força potente. Um exemplo é o carrinho de mão da figura a seguir.

MILJAN ŽIVKOVIĆ/GETTY IMAGES

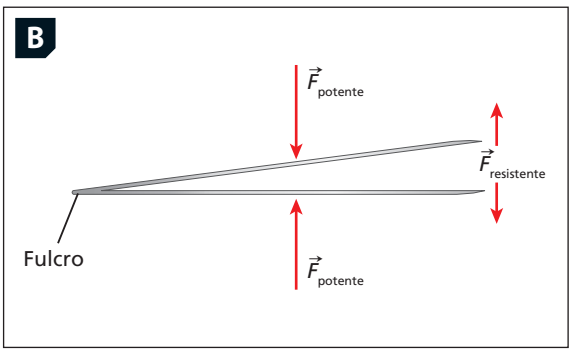


ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Carrinho de mão como alavanca inter-resistente. **(B)** A força resistente ($\vec{F}_{resistente}$) é o peso da carga, enquanto a força potente ($\vec{F}_{potente}$) é aplicada pela pessoa que leva o carrinho. (Imagens sem escala.)

- **Interpotente:** esse tipo de alavanca apresenta força potente entre o ponto de apoio e a força resistente. Alguns exemplos são: pinça e vara de pesca.

PIXEL-SHOT/SHUTTERSTOCK



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

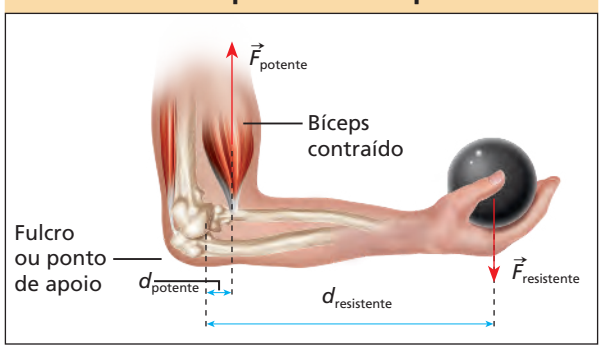
(A) Pinça como alavanca interpotente. **(B)** A força potente ($\vec{F}_{potente}$) é aplicada pelos dedos e a força resistente ($\vec{F}_{resistente}$) é o peso do objeto sendo pressionado pela pinça. (Imagens sem escala.)

É importante notar que, assim como as alavancas podem auxiliar em atividades cotidianas, também podem oferecer riscos. O uso inadequado de ferramentas que aplicam o princípio da alavanca pode causar instabilidade e corre-se o risco de perda de equilíbrio, o que pode provocar acidentes. Por isso, é fundamental manusear as ferramentas corretamente, seguindo as instruções específicas e os padrões de segurança.

Alavancas no corpo humano

As alavancas são fundamentais na Física e desempenham um papel crucial nas atividades do corpo humano. Quando levantamos um objeto com o braço e o antebraço, por exemplo, nas posições indicadas na figura a seguir, o cotovelo atua como o fulcro da alavanca. O bíceps, que está situado na parte frontal do braço, é responsável pela força motora ou força potente ($\vec{F}_{potente}$), enquanto o peso do objeto representa a força resistente ($\vec{F}_{resistente}$).

Alavanca interpotente no corpo humano



ERIKA ONODERA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do conjunto braço, cotovelo e antebraço como uma alavanca interpotente, tendo o cotovelo como ponto de apoio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fonte: elaborado com base em DURÁN, J. E. R. **Biofísica**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

ADOBE STOCK/EASY MEDIABANK

Mulher realizando o exercício conhecido como rosca direta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nesse tipo de alavanca, o músculo bíceps se contrai e aplica uma força, que é transmitida ao antebraço, permitindo que determinado objeto seja erguido. Esse tipo de exercício é praticado nas academias, sob supervisão, e é chamado rosca direta.

Outro exemplo é o movimento dos músculos da panturrilha, que nos permite caminhar e correr. Nesse caso, a ponta do pé age como o fulcro da alavanca, o músculo da panturrilha fornece a força motora ou força potente ($\vec{F}_{potente}$) e o peso do corpo age como a força resistente ($\vec{F}_{resistente}$). Conforme o músculo da panturrilha se contrai, ele puxa o tendão calcâneo, causando o movimento de flexão plantar, empurrando o corpo para a frente.

A aplicação do princípio da alavanca está presente em diversas atividades físicas, facilitando os movimentos do corpo humano e diminuindo o esforço necessário para realizar determinadas tarefas. Seja na movimentação dos membros superiores, inferiores, seja da estrutura craniana, as alavancas são sistemas físicos cujo princípio de funcionamento pode ser relacionado ao movimento de diferentes partes do corpo humano.

Alavanca inter-resistente no corpo humano

ERIKA ONODERA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em DURÁN, J. E. R. **Biofísica**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

Representação esquemática da perna como uma alavanca inter-resistente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fique por dentro

Biomecânica básica

HALL, S. J. **Biomecânica básica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.

O livro aborda os princípios da biomecânica, apresentando conceitos básicos da Física envolvidos no movimento do corpo humano. Ele oferece uma base sólida para o estudo desses conceitos, com exemplos didáticos da movimentação do corpo humano no dia a dia e nos esportes.

Aplique e registre

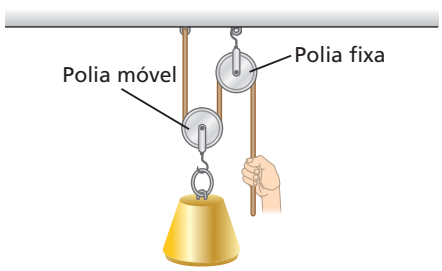
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

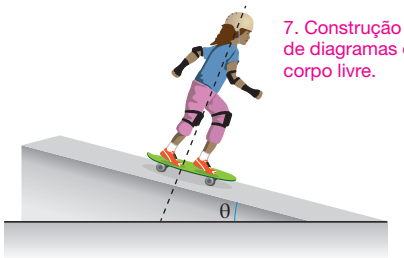
6. Em Mecânica, o que é uma máquina simples? Cite dois tipos de máquina simples que você utiliza no dia a dia e descreva suas principais características.

7. Reproduza as figuras a seguir esquematicamente em seu caderno e represente todas as forças relevantes que atuam em cada uma das situações. Desconsidere as forças de atrito e considere as cordas e polias ideais.

a.



b.



8. Quando uma alavanca é usada para levantar cargas, quais são as duas forças que têm momento não nulo? 8. $\vec{F}_{potente}$: aplicada para erguer a carga; $\vec{F}_{resistente}$: força peso da carga.

9. Quais são os três tipos principais de alavanca, de acordo com os pontos de aplicação das forças? Cite exemplos de objetos que você conhece que funcionam como cada um desses tipos.

10. Dê dois exemplos de alavanca no corpo humano, indicando os componentes que representam o fulcro da alavanca, a força potente e a força resistente. 10. Flexão do cotovelo e andar.

6. Um dispositivo que facilita o trabalho, proporcionando uma vantagem mecânica. Exemplos: alavancas, polias, plano inclinado.

7. Construção de diagramas de corpo livre.

ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

9. Interfixa, inter-resistente e interpotente.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (IFSul-RS) Em Física, um determinado corpo, ao ser analisado, pode ser considerado como sendo um ponto material ou um corpo extenso. Considerar um corpo como ponto material equivale admitir que, na situação física em que está sendo analisado, ele só poderá apresentar movimento de translação, uma vez que não se pode admitir o movimento de rotação para um único ponto. Por outro lado, o corpo extenso pode apresentar tanto movimento de translação quanto movimento de rotação. Com base no texto e em seus conhecimentos, analise as afirmativas a seguir.

I. Um corpo extenso está em equilíbrio de translação apenas quando seu centro de massa está em repouso em relação a um determinado referencial inercial.

II. A condição de equilíbrio de translação de um corpo extenso é que a soma das forças externas que atuam no corpo seja nula.

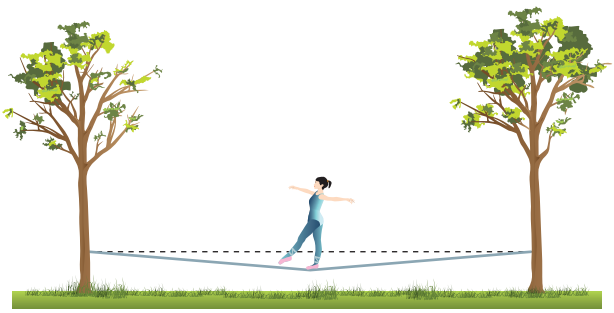
III. A condição de equilíbrio de rotação de um corpo extenso sob a ação de um conjunto de forças coplanares é que o momento resultante em relação a qualquer eixo perpendicular ao plano das forças seja nulo.

Está(ão) correta(s) apenas a(s) afirmativa(s): 1. Alternativa **d**.

a. I.
b. II.
c. I e III.
d. II e III.

2. (Enem) *Slackline* é um esporte no qual o atleta deve se equilibrar e executar manobras estando sobre uma fita esticada. Para a prática do esporte, as duas extremidades da fita são fixadas de forma que ela fique a alguns centímetros do solo. Quando uma atleta de massa igual a 80 kg está exatamente no meio da fita, essa se desloca verticalmente, formando um ângulo de 10° com a horizontal, como esquematizado na figura. Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m s^{-2}, cos (10°) = 0,98 e sen (10°) = 0,17.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Qual é a força que a fita exerce em cada uma das árvores por causa da presença da atleta? 2. Alternativa **d**.

a. $4{,}0 \cdot 10^2$ N
b. $4{,}1 \cdot 10^2$ N
c. $8{,}0 \cdot 10^2$ N
d. $2{,}4 \cdot 10^3$ N
e. $4{,}7 \cdot 10^3$ N

3. (Unesp-SP) Um lustre está pendurado no teto de uma sala por meio de dois fios inextensíveis, de mesmo comprimento e de massas desprezíveis, como mostra a figura 1, onde o ângulo que cada fio faz com a vertical é 30°. As forças de tensão nos fios têm a mesma intensidade.

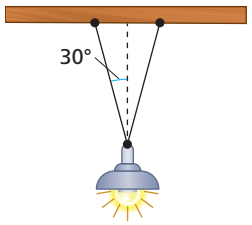


Figura 1

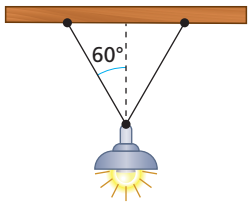


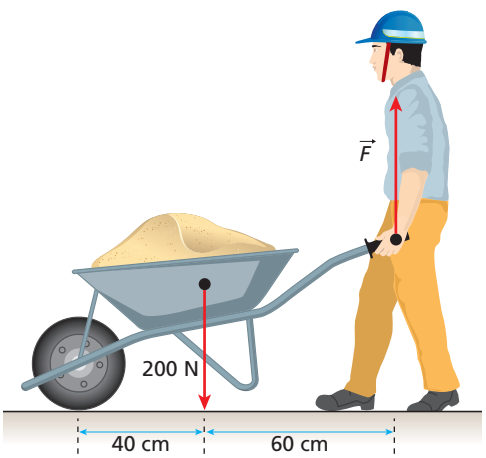
Figura 2

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando cos 30° ≃ 0,87, se a posição do lustre for modificada e os fios forem presos ao teto mais distantes um do outro, de forma que o ângulo que cada um faz com a vertical passe a ser o dobro do original, como mostra a figura 2, a tensão em cada fio será igual a: 3. Alternativa **b**.

a. 0,50 do valor original.
b. 1,74 do valor original.
c. 0,86 do valor original.
d. 2,00 do valor original.
e. 3,46 do valor original.

4. O carrinho de mão é um exemplo de alavanca inter-resistente, onde a carga fica entre o ponto de apoio e o local de aplicação da força. Esse arranjo permite que o usuário mova objetos pesados com menos esforço. Nessa configuração, o centro da roda age como fulcro, distribuindo melhor o peso e facilitando o transporte de materiais com maior eficiência e menor fadiga. Determine a intensidade da força $\vec{F}$ que o homem deve exercer para manter em equilíbrio o sistema representado na figura a seguir. 4. $F = 80$ N

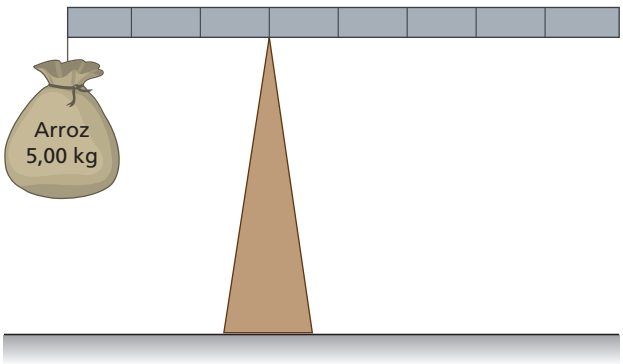


LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um carrinho de mão em uma situação de equilíbrio. (Imagem sem escala.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. (Enem) Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea. Ele propôs que fizessem a medição da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso, os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais, e em seguida apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.

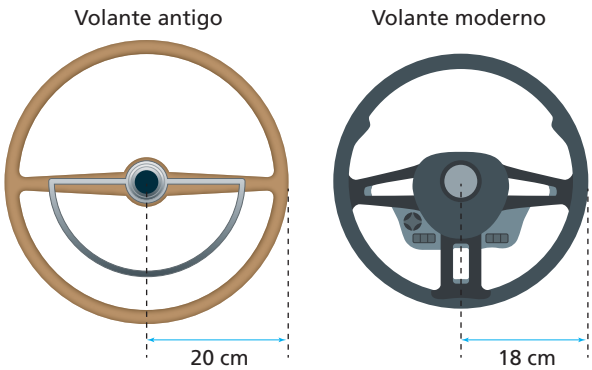


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos? 5. Alternativa **e**.

a. 3,00 kg
b. 3,75 kg
c. 5,00 kg
d. 6,00 kg
e. 15,00 kg

6. (Vunesp-SP) Carros antigos possuíam volantes relativamente maiores quando comparados aos de carros modernos. Por exemplo, um carro antigo poderia sair de fábrica com volante original de 20 cm de raio, já os carros modernos comumente são equipados com volantes de 18 cm de raio. Um dos motivos para o emprego de volantes relativamente maiores em carros antigos era a ausência de sistemas elétricos ou hidráulicos que auxiliassem no esterço desses carros.



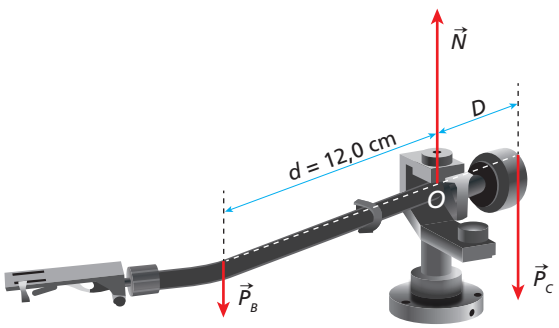
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Se em um carro antigo o volante original de 20 cm de raio fosse trocado por um volante de 18 cm de raio, a força necessária para produzir um mesmo torque sobre esse novo volante, quando comparada à força a ser aplicada no volante original, seria maior em, aproximadamente:

6. Alternativa **a**.

a. 11%
b. 19%
c. 25%
d. 33%
e. 40%

7. (Unicamp-SP) A figura a seguir mostra o braço de um toca-discos de vinil. Nela são indicadas, nos seus respectivos pontos de atuação, as seguintes forças: peso do braço ($\vec{P}_B$), peso do contrapeso ($\vec{P}_C$) e força normal aplicada pelo suporte do braço ($\vec{N}$). Para que o braço fique em equilíbrio, é necessário que a soma dos torques seja igual a zero. No caso do braço da figura, o módulo do torque de cada força em relação ao ponto *O* (suporte do braço) é igual ao produto do módulo da força pela distância do ponto de aplicação da força até *O*. Adote torque positivo para forças que tendem a girar o braço no sentido horário e torque negativo para o sentido anti-horário.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Sendo $|\vec{P}_C| = 1{,}5$ N, $|\vec{P}_B| = 0{,}3$ N e $|\vec{N}| = 1{,}8$ N, qual deve ser a distância *D* do contrapeso ao ponto *O* para que o braço fique em equilíbrio? 7. Alternativa **b**.

a. 2,0 cm.
b. 2,4 cm.
c. 3,6 cm.
d. 6,0 cm.
e. 8,0 cm.

8. Leia o texto a seguir.

Uma amiga de Passa Quatro convidou-me a visitar uma fazenda onde um monjolo centenário havia sido restaurado. Para os urbanos, explico: monjolo é uma máquina simples, rudimentar, movida a água corrente, desviada por meio de um canal ou tubulação de um córrego ou rio. Trabalha na forma de uma balança romana – duas hastes que se equilibram em um eixo – e sua finalidade é pilar (tirar a casca) ou reduzir a pequenos pedaços grãos de arroz, milho e café.

Fonte: ZANETTI, E. Soca pilão, soca pilão, acompanhe as batidas do meu pobre coração. **Alta Mantiqueira**: Vida e gastronomia da Serra do Papagaio - MG. 26 set. 2018. Disponível em: https://www.altamantiqueira.com.br/post/soca-pil%C3%A3o-soca-pil%C3%A3o-acompanhe-as-batidas-do-meu-pobre-cora%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 20 ago. 2024.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. b. O processo de moagem foi automatizado, reduzindo o esforço físico.

8. c. Reforçando o sentimento de pertencimento e continuidade entre as gerações e promovendo o reconhecimento da sabedoria ancestral.

RAFAEL LOPES/WIKIMEDIA FOUNDATION, INC.

O monjolo é um tipo de máquina simples utilizada para o processamento de grãos, cujas origens remontam ao período do Brasil colônia. Sua operação sustentável, que dispensa esforço humano direto, garantiu sua permanência e uso até os dias atuais, sendo encontrado em diversas regiões do Brasil, incluindo comunidades indígenas e quilombolas.

a. Considerando o funcionamento do monjolo, com qual tipo de máquina simples ele se relaciona do ponto de vista da Física? 8. a. Alavanca.

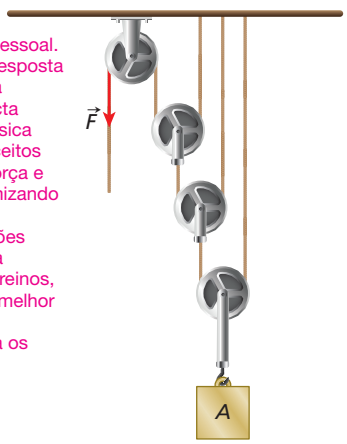
b. Quais foram as possíveis mudanças no cotidiano das comunidades com a introdução e o uso do monjolo, especialmente em relação à divisão do trabalho e ao tempo disponível para outras atividades?

c. Tecnologias sociais como o monjolo desempenham um importante papel no patrimônio cultural de diversas comunidades. Como a preservação desses conhecimentos contribui para fortalecer a identidade cultural dessas comunidades no contexto atual?

9. Máquinas simples que utilizam associações de polias têm sido utilizadas desde pelo menos o século V a.C. Na Grécia antiga, matemáticos como Arquimedes desenvolveram diversos sistemas de elevação de cargas que empregavam polias fixas e móveis, conhecidos hoje como talhas exponenciais. Considere uma talha exponencial sem atritos, como a do esquema a seguir, dotada de três polias móveis e uma fixa.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

12. Resposta pessoal. Uma possível resposta é citarem que a Física se conecta à preparação física ao aplicar conceitos de equilíbrio, força e alavancas, otimizando movimentos, prevenindo lesões e melhorando a eficiência dos treinos, resultando em melhor desempenho e segurança para os atletas.



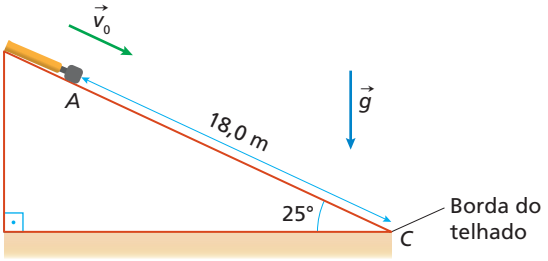
Representação esquemática de uma talha exponencial sem atritos. (Imagem sem escala.)

Desejando-se manter suspensa e em equilíbrio uma carga A de 1.600 N, determine a intensidade da força $\vec{F}$ a ser aplicada para baixo no ramo de corda que passa pela polia fixa nos seguintes casos:

a. as cordas e as polias são ideais, isto é, têm massas desprezíveis; 9. a. $F = 200$ N

b. as cordas são ideais, mas cada polia tem peso de módulo igual a 48 N. 9. b. $F = 242$ N

10. Ao subir em um telhado inclinado $\theta = 25°$ em relação à horizontal para realizar um reparo, um telhadista, sem querer, chutou seu martelo em um ponto A e este entrou em movimento com velocidade $\vec{v}_0$ de intensidade 4,0 m/s ao longo da linha $AC = 18{,}0$ m, indicada no esquema.

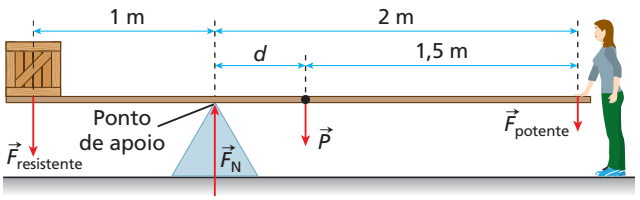


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da posição do martelo sobre o telhado inclinado. (Imagem sem escala.)

A superfície do telhado deve ser considerada plana e o coeficiente de atrito dinâmico entre o martelo e essa superfície é 0,50. Sabendo-se que o martelo não caiu do telhado, que $g = 10$ m/s^2, sen $25° \simeq 0{,}40$ e cos $25° \simeq 0{,}90$, determine a intensidade a da aceleração do martelo durante seu escorregamento. 10. $a = 0{,}5$ m/s^2

11. Na situação a seguir, uma pessoa precisa levantar uma caixa com peso de intensidade 300 N e usa uma alavanca, como mostra a figura a seguir. Sabendo que o peso da alavanca tem intensidade de 50 N e está em equilíbrio horizontal, calcule a intensidade mínima da força potente e a intensidade da força que o ponto de apoio exerce na alavanca. 11. $F_{potente} = 137{,}5$ N; $F_N = 487{,}5$ N



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da alavanca utilizada para levantar a caixa. (Imagem sem escala.)

12. Em grupo com dois colegas, pesquisem como a Física se conecta com a ciência da preparação física. Vocês podem conversar com esportistas, *personal trainers* e outros profissionais da área para entender como aplicam conceitos de Física, como os conceitos de equilíbrio, força e alavancas, no dia a dia e como esse conhecimento contribui para o desempenho profissional.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 11

Estática dos fluidos

ARTIE PHOTOGRAPHY (ARTIE NG)/GETTY IMAGES

Baía Paraíso, na península Antártica (2019).

O que é visível de um *iceberg* representa apenas uma pequena parte dele, já que a maior parte está submersa. O volume de gelo exposto e o volume submerso é resultado da relação entre as densidades da água nas fases líquida e sólida. Com o aquecimento global e o aumento da temperatura dos oceanos, nota-se também o derretimento de *icebergs*, que apresentam maior velocidade de degelo na sua parte submersa.

Neste capítulo, além da densidade, vamos estudar a grandeza física pressão, que é fundamental para compreendermos, por exemplo, como é feita a distribuição de água até nossas residências e a força de empuxo nos corpos imersos em fluidos.

Densidade

O gelo flutua na água porque a sua densidade é menor que a da água. *Icebergs*, por exemplo, que são grandes porções de gelo, flutuam no mar, pois sua densidade é menor que a da água salgada.

Podemos definir a **densidade** (***d***) de um corpo ou objeto pela razão entre sua massa (m) e seu volume externo ($V_{ext.}$).

$$d = \frac{m}{V_{ext.}}$$

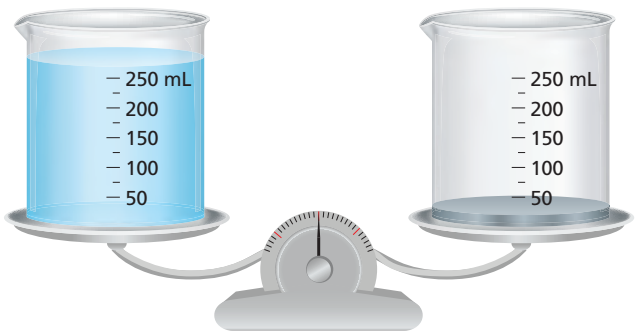
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A densidade é uma grandeza escalar que mede a quantidade de matéria que ocupa determinado espaço. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a densidade é dada em kg/m^3, mas também podemos expressá-la em g/cm^3.

Para substâncias homogêneas cuja massa é diretamente proporcional ao volume em condições de temperatura e pressão constantes, definimos a **massa específica** (**μ**), dada por:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

O volume ocupado por 270 g de água, por exemplo, é maior que o volume ocupado por 270 g de mercúrio, pois a massa específica do mercúrio ($\mu_{mercúrio} \simeq 13{,}6$ g/cm^3) é maior que a da água ($\mu_{água} \simeq 1{,}0$ g/cm^3).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da comparação entre os volumes ocupados por massas iguais de água e de mercúrio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

É importante notar que a densidade se refere a um corpo ou objeto, enquanto a massa específica se refere a uma substância. Se o corpo for maciço e homogêneo, a densidade e a massa específica coincidem.

A tabela a seguir apresenta as massas específicas de algumas substâncias.

Massas específicas (μ)

Substância	μ (g/cm^3)
Carvão vegetal	0,20
Etanol (álcool etílico)	0,79
Água (0,1 °C)	0,99985
Água (25,0 °C)	0,99705
Ferro	7,87
Prata	10,50
Ouro	19,30

Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. (ed.). **Handbook of Chemistry and Physics**. 96. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Valores das massas específicas (μ) de diferentes substâncias.

Exemplo

Considerando que a densidade da água a 100 °C seja 0,96 g/cm^3 e que o gelo apresenta densidade de 0,92 g/cm^3, o volume de 100 g de água a 100 °C é quantas vezes maior que o de 100 g de gelo?

O volume pode ser calculado por:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{d}$$

Para a água a 100 °C, temos:

$$V_{100\,°C} = \frac{m_{100\,°C}}{d_{100\,°C}} \Rightarrow V_{100\,°C} = \frac{100\text{ g}}{0{,}96\text{ g/cm}^3}$$

$$\therefore V_{100\,°C} \simeq 104{,}17\text{ cm}^3$$

Para o gelo, temos:

$$V_{0\,°C} = \frac{m_{0\,°C}}{d_{0\,°C}} \Rightarrow V_{0\,°C} = \frac{100\text{ g}}{0{,}92\text{ g/cm}^3} \therefore V_{0\,°C} \simeq 108{,}70\text{ cm}^3$$

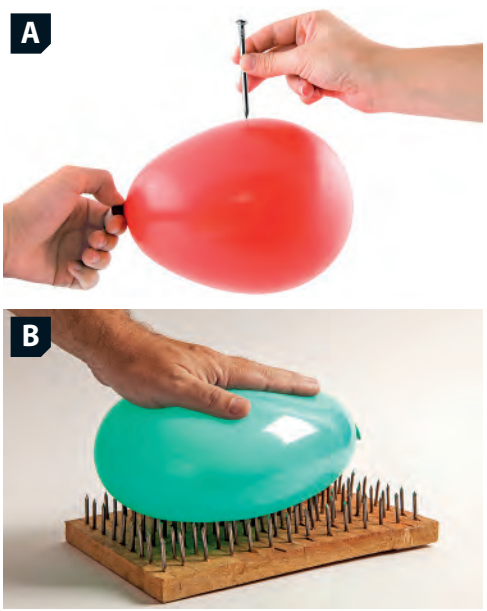
Comparando os volumes:

$$\frac{V_{0\,°C}}{V_{100\,°C}} = \frac{108{,}70\text{ cm}^3}{104{,}17\text{ cm}^3} \therefore V_{0\,°C} \simeq 1{,}04 \cdot V_{100\,°C}$$

Portanto, apesar da grande diferença de temperaturas, a diferença nos volumes não é muito grande.

Pressão

Se tentarmos estourar uma bexiga usando um único prego (figura A) ou vários pregos (figura B), aplicando forças de mesma intensidade em ambas as situações, qual dos métodos é mais eficiente?



SHEBEKO/SHUTTERSTOCK

ALEXANDRE DOTTA/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

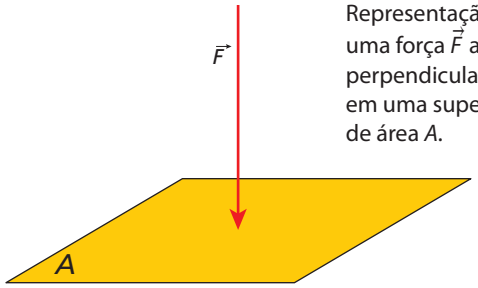
(A) A pressão de um prego sobre um único ponto da bexiga deve estourá-la imediatamente. **(B)** Aplicando a mesma força, se a pressão for distribuída em vários pontos da bexiga, fica mais difícil estourá-la. (Imagens sem escala.)

Analisando as situações representadas nas figuras A e B, podemos concluir que é mais eficiente usar apenas um prego para estourar a bexiga, por causa da pressão exercida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A **pressão** (***p***) é uma grandeza escalar definida pela razão entre a intensidade de uma força *F* aplicada a uma superfície e a área *A* dessa superfície. Sendo a força aplicada perpendicularmente à superfície, a pressão (*p*) é dada por:

$$p = \frac{F}{A}$$



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de uma força $\vec{F}$ atuando perpendicularmente em uma superfície de área *A*.

Portanto, a pressão é maior quando a força é aplicada sobre uma área menor. Por isso, é mais fácil estourar a bexiga com um prego. Quando a força é distribuída por uma área maior da bexiga, a pressão torna-se menor, ficando mais difícil estourá-la.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida para a pressão é N/m^2, também chamada de pascal (Pa), em homenagem ao matemático e filósofo francês Blaise Pascal (1623-1662), que realizou uma série de experimentos sobre a pressão atmosférica, fornecendo contribuições importantes para o desenvolvimento da hidrostática.

Exemplo

O batiscafo é um veículo submersível que pode ou não ser tripulado, utilizado para atingir grandes profundidades. Como estudaremos a seguir, à medida que o veículo submerge a profundidades cada vez maiores, a pressão exercida pela água aumenta. Apesar de ser utilizado para explorar o ambiente subaquático, o batiscafo tem uma janela relativamente pequena.

OCEANIA JAM/SHUTTERSTOCK

Batiscafo construído por Jacques Cousteau, em Mônaco (2018).

a. Por que a janela é tão pequena se o pesquisador dentro do batiscafo tem a intenção de observar amplamente o ambiente ao seu redor?

Porque a pressão dentro do batiscafo é menor que a pressão exercida pela água, pelo lado de fora. Essa diferença de pressões aplicada sobre uma área grande pode gerar uma intensa força resultante na janela, capaz de romper o vidro.

b. Para ter uma dimensão da intensidade da força aplicada pela água na janela, considere que a 100 m de profundidade a pressão aplicada pela água na janela seja de $11.000\ N/m^2$ e que a janela tenha uma área próxima de $400\ cm^2$. Nessa situação, qual é a intensidade da força aplicada pela água na parte externa da janela?

A intensidade da força aplicada é dada por $F = p \cdot A$.

A área de $400\ cm^2$ corresponde a $4 \cdot 10^{-2}\ m^2$.

Substituindo os dados fornecidos na expressão da força, obtemos:

$$F = 11.000\ N/m^2 \cdot 4 \cdot 10^{-2}\ m^2 \therefore F = 440\ N$$

c. Se a área da janela fosse 3 vezes maior, a intensidade dessa força seria maior, menor ou teria o mesmo valor?

Se a área fosse três vezes maior, a intensidade da força seria:

$$F' = p \cdot A' \Rightarrow F' = p \cdot (3 \cdot A) \Rightarrow F' = 3\,p \cdot A \therefore F' = 3\,F$$

Portanto, para obter o mesmo valor de pressão em uma área maior, uma força de maior intensidade deve ser aplicada.

Pressão atmosférica

O planeta Terra está envolvido por uma extensa camada de gases, a atmosfera. Os principais gases que a compõem são nitrogênio (78,08%) e oxigênio (20,95%), mas há outros, como vapor de água, dióxido de carbono, neônio e hélio. Essa camada de gases tem peso e é atraída pela força da gravidade terrestre, exercendo pressão sobre a superfície do planeta e sobre todos os corpos nela presentes. A pressão exercida pela atmosfera sobre a superfície da Terra é chamada de **pressão atmosférica**. É importante salientar que a pressão é uma grandeza escalar e é exercida por todos os lados sobre qualquer corpo imerso no fluido em questão.

A pressão atmosférica varia de acordo com a altitude. Nas localidades ao nível do mar, a pressão atmosférica é maior que a registrada no alto de uma montanha, por exemplo, acima de 3.000 m. Comparativamente, a coluna de ar sobre um ponto ao nível do mar é mais espessa que a coluna de ar sobre um ponto a 3.000 m, justificando a diferença na pressão atmosférica nessas localidades.

Essa diferença de pressão altera a temperatura de ebulição da água. Ao nível do mar, a pressão atmosférica é máxima e

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a água entra em ebulição a 100 °C. Em altitudes maiores, a pressão atmosférica é menor e a água entra em ebulição a temperaturas menores que 100 °C. Do mesmo modo, se quisermos que a água entre em ebulição a uma temperatura maior, devemos aumentar a pressão, o que pode ser feito utilizando-se, por exemplo, uma panela de pressão. Nesse caso, como a água entra em ebulição a uma temperatura maior, os alimentos são cozidos mais rapidamente.

Na natureza, geralmente em áreas vulcânicas, existem fissuras na superfície terrestre que expelem água e vapor; são os chamados gêiseres. Isso ocorre em virtude de as águas subterrâneas receberem muito calor de rochas adjacentes superaquecidas. Nesse processo, há intensa produção de vapor de água em alta pressão, o que favorece a elevação do ponto de ebulição da água acima dos tradicionais 100 °C. Com isso, ao atingir a fissura, essa água líquida e quente pressurizada é lançada violentamente para cima, dando origem a jatos espetaculares com água e vapor.

MAREK STEFUNKO/GETTY IMAGES

Gêiser Strokkur, na Islândia (2024).

Medida da pressão atmosférica

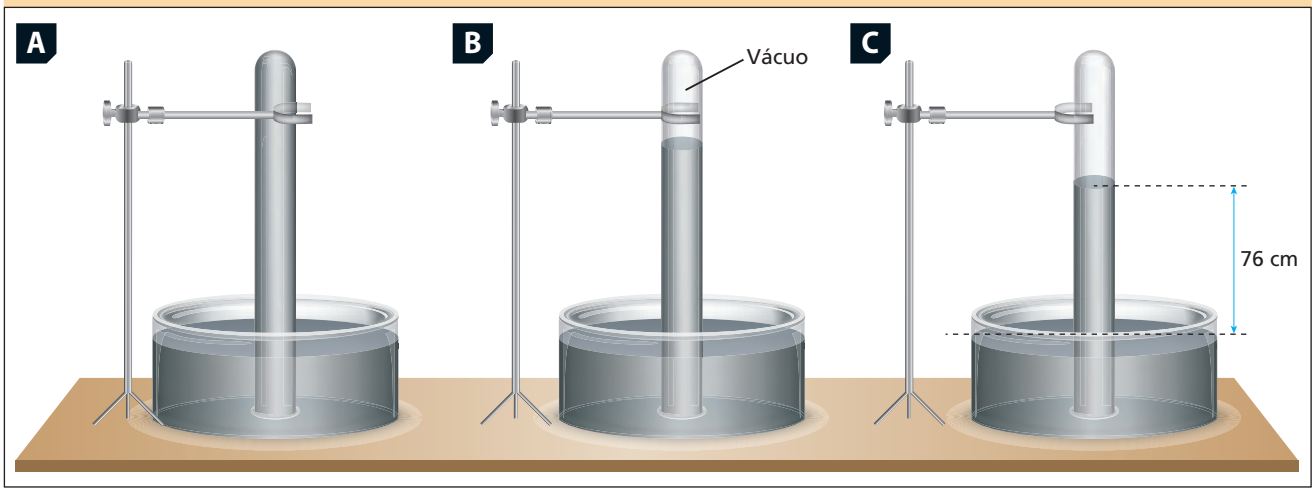
Por volta de 1630, o físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) estava hospedado na propriedade do grão-duque Ferdinando II. Nessa ocasião, um jardineiro construiu uma bomba de sucção (que diminui a pressão na parte superior da instalação) e percebeu que não conseguia elevar a água ao longo do jardim a uma altura maior que 10 m, aproximadamente. O problema foi apresentado para Galileu, que, utilizando o conhecimento da época, não resolveu a questão de forma completa. Interferiu no raciocínio de Galileu o fato de que na época considerava-se que o ar não tinha densidade e, portanto, não exercia pressão.

Quem resolveu esse problema foi o físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), que trabalhou com Galileu no final da vida do mestre. Torricelli afirmava que a água sobe pela bomba não porque a bomba puxa a água, mas sim porque o ar empurra a água para cima pela extremidade aberta. Para isso, Torricelli considerou a pressão e a densidade do ar, elementos que não eram ponderados até então.

Para medir a pressão do ar, Torricelli criou, em 1643, o barômetro, que consistia em um tubo fino de vidro, com aproximadamente 1 m de comprimento, cheio de mercúrio (Hg) até sua extremidade aberta, um metal líquido 13,6 vezes mais denso que a água. O cientista fechou essa extremidade aberta do tubo e o inverteu, mergulhando-o de boca para baixo em uma cuba que também continha mercúrio. Destampado o tubo, o mercúrio do seu interior começou a escoar para baixo, deixando praticamente vácuo na parte superior do recipiente. A coluna de mercúrio estabilizou em 76 cm (desnível entre o mercúrio do tubo e o mercúrio da cuba), e Torricelli relacionou essa mudança na altura da coluna de mercúrio a uma busca por equilíbrio entre a pressão exercida por ela e a pressão do ar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Representação esquemática do experimento de Torricelli



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do experimento de Torricelli. Em **(A)**, temos um tubo de vidro cheio de mercúrio. Em **(B)**, o mercúrio escorre dentro do tubo, deixando uma região com vácuo. Em **(C)**, a coluna de mercúrio se estabiliza com uma altura de 76 cm. Atenção: não é recomendável reproduzir esse experimento, pois o mercúrio é uma substância tóxica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em seguida, Torricelli adotou o comprimento da coluna de mercúrio (76 cm) como a medida da pressão atmosférica ao nível do mar; assim:

$$76\ \text{cmHg} = 760\ \text{mmHg} = 1\ \text{atmosfera (1 atm)}$$

Torricelli afirmou então que, se o mercúrio é 13,6 vezes mais denso que a água, a mesma pressão atmosférica seria capaz de elevar uma coluna de água a uma altura 13,6 vezes maior que a altura obtida com mercúrio.

De fato, $13{,}6 \cdot 76\ \text{cm} \simeq 10{,}3\ \text{m}$. Assim, Torricelli resolveu uma das questões abertas de seu tempo. Com isso, estabeleceu-se mais uma unidade de pressão:

$$76\ \text{cmHg} = 760\ \text{mmHg} = 1\ \text{atmosfera (1 atm)} \cong 10\ \text{m de coluna de água}$$

O valor da pressão atmosférica ao nível do mar é próximo de 1 atm, obedecendo à relação:

$$10^5\ \text{N/m}^2 = 1\ \text{atm}$$

Além de atm, há outras unidades de medida de pressão, como a libra por polegada quadrada (psi) e o bar, utilizado principalmente na meteorologia.

$$1\ \text{psi} \simeq 6{,}894747 \cdot 10^3\ \text{Pa}$$

$$1\ \text{bar} = 0{,}9869\ \text{atm ou } 1\ \text{bar} \simeq 1\ \text{atm}$$

1. O objeto irá ascender se a sua densidade for menor que a do líquido. Se a densidade do objeto for maior que a do líquido, ele afundará. Se a densidade do objeto for igual à do líquido, ele fica suspenso no meio desse fluido.

2. A salinidade aumenta a densidade da água; na água mais densa, o volume deslocado por um corpo imerso é maior, resultando em um empuxo maior, o que facilita a flutuação.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. A densidade é uma medida da quantidade de matéria que está contida em determinado volume. Portanto, quanto maior for a densidade de um objeto, mais matéria ele possui em um volume determinado. Quando um objeto é colocado no interior de um líquido e solto, qual é a relação entre a densidade e a flutuação desse objeto?
2. O Mar Morto é um lago no Oriente Médio que tem um alto índice de salinidade. Por que uma pessoa consegue flutuar com mais facilidade nele do que em outro lago com menor salinidade?
3. Alguns animais apresentam características adquiridas no processo de evolução e adaptação ao seu hábitat. Uma dessas características nos ursos-polares, por exemplo, é ter as patas largas.

   Com base no conceito de pressão, explique por que as patas largas permitem que o urso-polar se movimente sobre a neve e o gelo de maneira mais ágil e segura, evitando que ele afunde na neve profunda, por exemplo.
4. Explique a razão pela qual ocorre a pressão atmosférica e cite duas unidades de medida usuais de pressão.
5. Em um barômetro como o de Torricelli, qual é a conveniência de se usar mercúrio em vez de água? 5. O comprimento do tubo é menor.

CHASE D'ANIMULLS/SHUTTERSTOCK

Urso-polar (*Ursus maritimus*) no norte do Canadá (2024). Um urso adulto pode atingir até 3 m de comprimento total e 800 kg de massa.

3. Porque elas diminuem a pressão sobre a neve.

4. A pressão atmosférica terrestre se deve às forças de compressão dos gases atmosféricos contra a superfície terrestre; N/m^2 e psi.

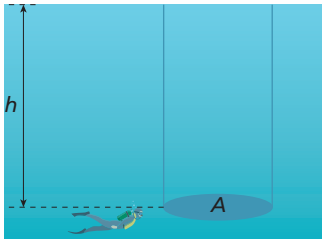
Pressão exercida por um líquido

Um mergulhador, ao descer a certa profundidade no mar, percebe uma pressão maior do que na superfície. Da mesma forma, quando mergulhamos rapidamente em uma piscina, sentimos, às vezes até perceptivelmente aos ouvidos, um aumento na pressão exercida sobre nós. Por que a água exerce uma pressão cada vez maior à medida que nos aprofundamos e ficamos mais longe da superfície?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A explicação desse fato se dá pela pressão exercida pela coluna de água que está acima do mergulhador. Esse acréscimo da pressão, devido ao peso da coluna de água acima do ponto em questão, é chamado de **pressão hidrostática**.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um mergulhador a certa profundidade *h*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Considerando um líquido em equilíbrio em um recipiente, com densidade *d* e altura *h*, e supondo que a base do recipiente tenha área *A*, podemos calcular a pressão exercida pela coluna líquida no fundo do recipiente a partir de:

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow p = \frac{m \cdot g}{A}$$

A densidade é dada por $d = \frac{m}{V}$. Assim,

$$m = d \cdot V$$

Portanto, a pressão fica determinada por:

$$p = \frac{d \cdot V \cdot g}{A}$$

Como o volume é $V = A \cdot h$, segue que $p = d \cdot g \cdot h$.

Assim, podemos afirmar que a pressão exercida pelo líquido sobre a base do recipiente depende da densidade *d* do líquido, do módulo da aceleração da gravidade *g* e da profundidade *h*.

Exemplo

Considere um submarino que está a 500 m de profundidade. Qual é a pressão hidrostática exercida pela água do mar sobre ele?

Considerando a densidade da água do mar igual a 1,02 g/cm^3, $g = 10$ m/s^2 e convertendo-se a densidade da água do mar em kg/m^3, temos $d_{mar} = 1.020$ kg/m^3.

Substituindo os valores de *g* e de *d*, a pressão pode ser calculada como:

$p = d_{mar} \cdot g \cdot h \Rightarrow p = 1.020 \cdot 10 \cdot 500 \therefore p = 5{,}1 \cdot 10^6$ N/m^2

Note que essa é apenas a pressão da água do mar sobre o submarino, já que a pressão atmosférica não está considerada nesse cálculo.

Teorema de Stevin

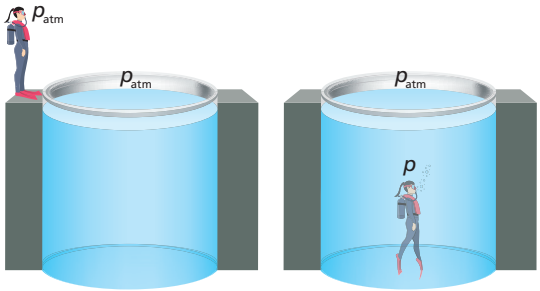
Imagine uma pessoa parada à beira de uma piscina. Nesse momento, ela está sujeita apenas à pressão atmosférica. Ao mergulhar na piscina, além da pressão atmosférica, ela recebe a pressão da coluna de água sobre seu corpo.

Em suas pesquisas sobre a pressão dos líquidos, o físico e matemático belga Simon Stevin (1548-1620) concluiu que a pressão exercida por uma coluna de determinado líquido depende da altura dessa coluna e da densidade do líquido. O teorema de Stevin, ou teorema fundamental da Hidrostática, é utilizado até hoje para determinar a pressão em qualquer ponto de uma coluna de líquido e pode ser enunciado da seguinte maneira:

A pressão *p* em um ponto localizado a uma profundidade *h*, dentro de um líquido em equilíbrio com densidade *d*, é igual à pressão atmosférica p_{atm} mais a pressão da coluna de líquido acima desse ponto.

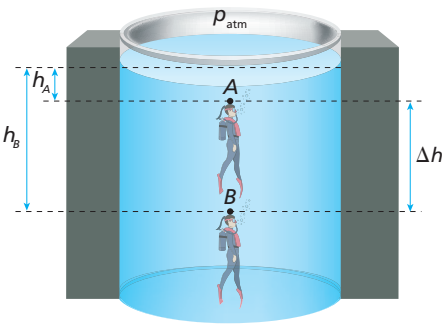
$$p = p_{atm} + d \cdot g \cdot h$$

Imagine agora uma mergulhadora profissional que esteja treinando apneia à profundidade *h* em um tanque de mergulho.



Representação esquemática de uma mergulhadora em um tanque de mergulho. Fora do tanque, a mergulhadora fica sujeita à pressão atmosférica; dentro dele, ela recebe também a pressão da coluna de água que está acima dela. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Se, durante o treino, ela alterar a profundidade do mergulho, ou seja, se aproximar mais do fundo ou da superfície base do tanque, provocará uma variação na pressão Δp sobre seu corpo.



Representação esquemática de uma mergulhadora em um tanque de mergulho. Ao alterar a profundidade do mergulho, a pressão sobre o corpo da mergulhadora também se altera. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Portanto, a variação da pressão Δp é dada por:

$$\Delta p = p_B - p_A \Rightarrow \Delta p = p_{atm} - d \cdot g \cdot h_B - (p_{atm} - d \cdot g \cdot h_A) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \Delta p = d \cdot g \cdot (h_B - h_A) \Rightarrow \Delta p = d \cdot g \cdot \Delta h$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

6. Mergulhando a 0,5 m de profundidade em uma piscina, em uma banheira ou em um rio, os valores de pressão aos quais o mergulhador estará submetido serão iguais? Explique.

7. Um mergulhador encontra-se a 20,0 m de profundidade no oceano. Supondo-se que a pressão atmosférica local seja de $1{,}0 \cdot 10^5$ Pa, o módulo da aceleração da gravidade seja $g = 10{,}0$ m/s^2 e a massa específica da água, $1{,}0 \cdot 10^3$ kg/m^3, determine:

a. a pressão hidrostática sobre o mergulhador; 7. a. $2{,}0 \cdot 10^5$ Pa

b. a pressão total (ou absoluta) registrada pelo mergulhador. 7. b. $3{,}0 \cdot 10^5$ Pa

6. Sim, pois a pressão em um fluido depende da profundidade e da densidade do fluido, além da pressão atmosférica; então, considerando que a piscina, a banheira e o rio contêm o mesmo fluido, o mergulhador estará submetido à mesma pressão.

Fique por dentro

Sob pressão

REID, S. *et al*. Sob pressão. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/under-pressure. Acesso em: 13 set. 2024.

Esse simulador permite investigar as variações da pressão aplicada em um fluido. É possível alterar parâmetros como a intensidade da aceleração da gravidade, a densidade do fluido, a forma do recipiente e o volume, para verificar a influência desses parâmetros na intensidade da pressão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO A Física do mergulho

A prática do mergulho envolve diversos conceitos e princípios da Física que são essenciais para entendermos como o corpo humano reage e se adapta às profundezas submarinas. A pressão é um dos fatores cruciais no mergulho, uma vez que ela aumenta significativamente à medida que se mergulha mais fundo.

Na superfície da água, o organismo do mergulhador suporta exclusivamente a pressão atmosférica de 1 atm. Porém, à medida que se aprofunda, a pressão sofre um acréscimo de 1 atm a cada 10 m de aumento da profundidade, aproximadamente. A pressão total exercida sobre o corpo da pessoa é conhecida como pressão absoluta. Nas profundezas aquáticas, ela é responsável por diversos efeitos no organismo, sendo um dos primeiros a compressão dos espaços aéreos do corpo, como ouvidos, seios da face e cavidades nasais.

Para equalizar a pressão interna com a externa, é necessário realizar manobras, como o chamado estalar de ouvidos, por exemplo, para permitir a passagem do ar nos espaços da orelha interna. Além disso, a pressão absoluta afeta a circulação sanguínea. À medida que se mergulha mais fundo, essa pressão aumenta e o volume de sangue deslocado para a parte superior do corpo diminui, podendo gerar maior carga sobre o coração e causar sintomas como vertigem e dificuldades respiratórias.

Mergulhos em altas profundidades apresentam uma série de desafios biológicos para o organismo devido a diversos fatores, como o aumento da pressão absoluta, a exposição a gases dissolvidos e a compressão dos tecidos. Esses problemas podem estar relacionados a três fatores principais: pressão, oxigênio e temperatura.

Um dos principais efeitos da pressão é a narcose por nitrogênio, conhecida como "embriaguez das profundezas". À medida que os mergulhadores atingem profundidades maiores, a pressão aumenta e o nitrogênio dissolvido no sangue também aumenta, o que pode afetar o sistema nervoso central, causando sensação de euforia e distorção do tempo e do julgamento, culminando em perda de consciência que pode até levar à morte.

Problemas de oxigênio também são comuns. Devido à alta pressão, as misturas de gases respiratórios usadas pelos mergulhadores submarinos contêm menos oxigênio que no ar atmosférico. Isso pode resultar em hipóxia, falta de oxigenação adequada dos tecidos, que pode levar à perda de consciência. Para evitar esses problemas, são utilizados cilindros de ar com misturas gasosas que diminuem esses efeitos.

JONMILNES/SHUTTERSTOCK

Mergulhador mostrando total consciência durante mergulho.

Continua

Continuação

Por fim, as variações extremas de temperatura também podem ser um problema. Conforme os mergulhadores se aprofundam, a temperatura da água diminui drasticamente, podendo levar à hipotermia, caracterizada por temperaturas corporais abaixo da normal e que pode causar tremores, confusão mental, fadiga e até mesmo a perda da consciência. Roupas especiais de neoprene com isolamento térmico ajudam a minimizar as perdas de calor do corpo para a água fria.

1. Quais são os efeitos fisiológicos do mergulho devido à pressão absoluta suportada pelo mergulhador?
2. O que é a narcose por nitrogênio em um mergulho e quais são seus efeitos?
3. Por que a temperatura é um problema durante mergulhos em grandes profundidades?

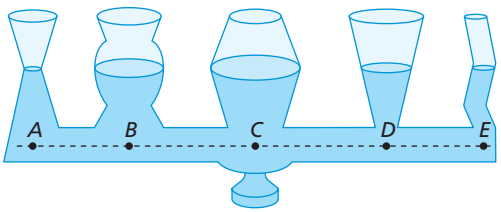
1. Compressão dos espaços aéreos do corpo, aumento da pressão sanguínea, vertigem e dificuldade respiratória.

2. É o aumento da quantidade de nitrogênio dissolvido no sangue, que pode afetar o sistema nervoso central, causando sensação de euforia e distorção do tempo e do julgamento, culminando em perda de consciência.

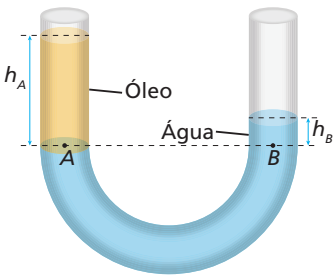
3. Porque com o aumento da profundidade, a temperatura diminui drasticamente, podendo levar à hipotermia.

Vasos comunicantes

Um sistema de **vasos comunicantes** é um conjunto de recipientes ligados pela mesma base. Considere um sistema de vasos comunicantes composto de cinco recipientes de formatos e volumes diferentes. Na base comum entre eles, há uma linha horizontal *ABCDE*, com um ponto indicando a altura da água em cada recipiente. Pelo teorema de Stevin, a pressão absoluta em todos os pontos da linha horizontal *ABCDE* é a mesma (linha isobárica). Logo, a altura das colunas líquidas em todos os ramos também será a mesma.



Representação esquemática de um sistema de vasos comunicantes. (Cores-fantasia.)



Representação esquemática de tubo em formato de U com dois líquidos não miscíveis, como água e óleo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Em um sistema de vasos comunicantes, o líquido atinge a mesma altura em todos os ramos. Os pontos *A*, *B*, *C*, *D* e *E* estão sob a mesma pressão.

Em Física, os vasos comunicantes, geralmente em formato de U, são utilizados no estudo da pressão exercida por líquidos ou das relações entre densidades de líquidos imiscíveis, ou seja, que não se misturam. Ao despejar um líquido como a água em um tubo em formato de U e depois um segundo líquido como o óleo, que não se mistura com a água, a pressão no tubo em dois pontos, *A* e *B*, de mesma altura, é igual. Portanto, temos:

$$p_A = p_B \Rightarrow p_{atm} + d_A \cdot g \cdot h_A = p_{atm} + d_B \cdot g \cdot h_B \Rightarrow$$
$$\Rightarrow d_A \cdot h_A = d_B \cdot h_B$$

Essa expressão permite obter a relação entre as densidades dos líquidos em função das alturas das colunas líquidas em um tubo em U.

As caixas-d'água colocadas no alto de residências para seu abastecimento são exemplos da aplicação do teorema de Stevin e de vasos comunicantes. Para a água fluir sem a necessidade de bombas de água, a caixa-d'água é sempre instalada a uma altura maior que a de torneiras e canos.

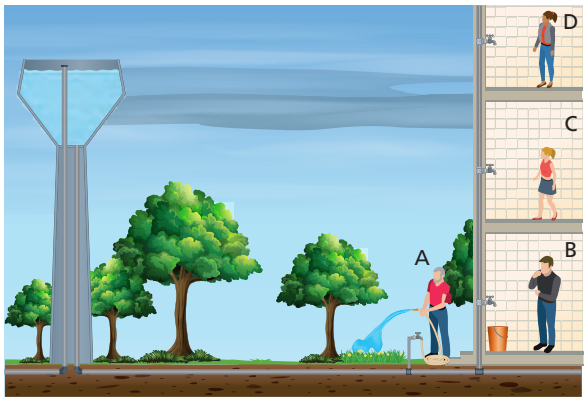
Caixa-d'água em uma residência.

ADAO PINHEIRO/GETTY IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Um prédio abastecido por uma única caixa-d'água pode ser considerado um sistema de vasos comunicantes. Considere o uso simultâneo das torneiras em quatro diferentes pontos do prédio: no ponto A, uma pessoa utiliza uma torneira na parte externa do prédio, no nível da rua; no ponto B, uma pessoa utiliza uma torneira no andar térreo; no ponto C, uma torneira é utilizada no segundo andar; no ponto D, andar mais alto do prédio, uma torneira também é utilizada. A caixa-d'água encontra-se a uma altura acima do ponto C e abaixo do ponto D.



Representação esquemática de um prédio sendo abastecido por uma caixa-d'água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Qual seria a ordem crescente da pressão hidráulica nos pontos A, B, C e D?

Quanto maior a diferença de altura com relação ao nível da água da caixa-d'água, maior a pressão; logo:

$$p_A = p_B > p_C \text{ e } p_D = 0$$

No ponto D, não há pressão, pois a água não pode alcançá-lo, já que está a uma altura maior que a do nível da água na caixa-d'água.

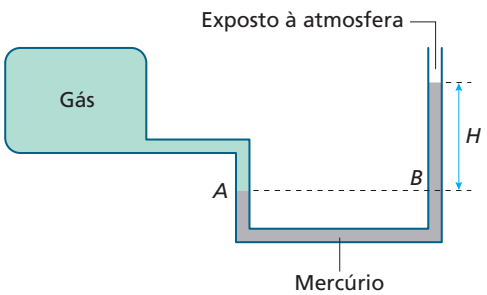
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

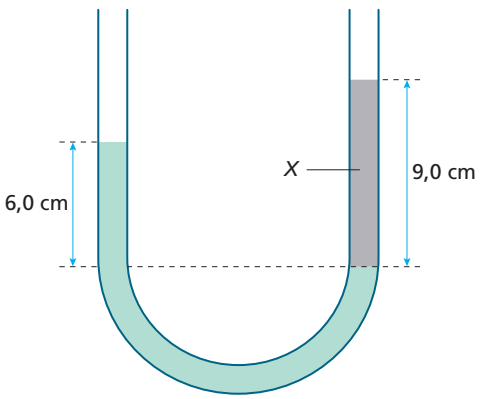
8. Manômetro é um dispositivo utilizado para medir a pressão de um fluido ou gás em um sistema fechado. Ele consiste em um sistema de vasos comunicantes de vidro, metal ou plástico que contém um fluido em seu interior, conectado a uma fonte de pressão. Quando a pressão do fluido varia, ele se desloca no tubo, permitindo a leitura da pressão em uma escala graduada. Os manômetros podem ser usados em diversas aplicações, como em sistemas de ar-condicionado, caldeiras, pneus de veículos, entre outros. 8. 90 cmHg.

No manômetro da figura, a pressão atmosférica local vale 70 cm de Hg e a altura *H*, 20 cm. Calcule a pressão do gás, em cm de Hg.



Representação esquemática de um manômetro. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

9. (UFRGS-RS) Em um tubo transparente em forma de U contendo água verteu-se, em uma de suas extremidades, uma dada quantidade de um líquido *X* não miscível com a água. Considere a densidade da água igual a 1,0 g/cm³. A figura mostra a forma como ficaram distribuídos a água e o líquido *X* após o equilíbrio.



O valor da densidade do líquido *X*, em g/cm³, é mais próximo de:

a. 0,50 9. Alternativa **b**.

b. 0,67

c. 0,90

d. 1,0

e. 1,5

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

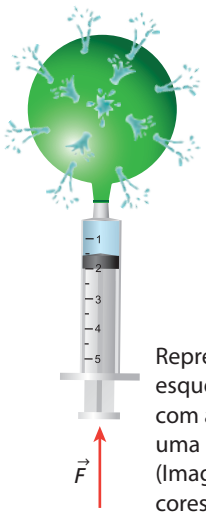
Princípio de Pascal

O matemático e filósofo francês Blaise Pascal (1623-1662) realizou vários estudos sobre a pressão em líquidos. Ele foi responsável pelo enunciado do que conhecemos hoje como **princípio de Pascal**. De acordo com esse princípio:

Se um ponto qualquer de um fluido incompressível em equilíbrio passar por uma variação de pressão, essa variação será transmitida integralmente para todos os pontos do fluido.

Por exemplo, em uma seringa com água ligada a uma bexiga furada, se uma força for aplicada para comprimir o êmbolo, a variação de pressão será transmitida para todos os pontos do fluido. Desse modo, a água vazará por todos os furos da bexiga.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de seringa com água, ligada a uma bexiga furada. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

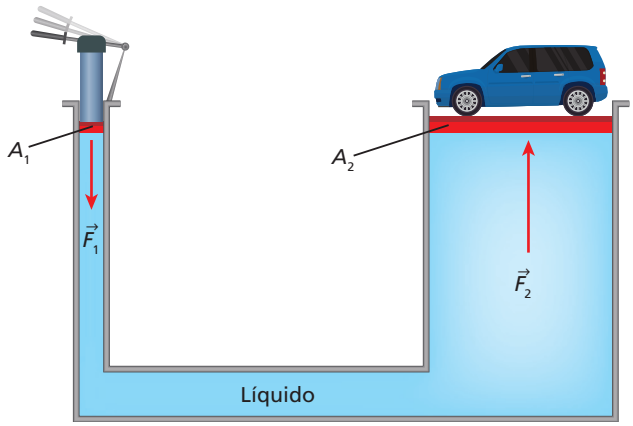
Outro exemplo são sistemas de irrigação simples que podem ser construídos com uma mangueira perfurada.

SORNRAM YAMTANOM/SHUTTERSTOCK

Mangueira perfurada sendo usada para irrigação.

OBJETO DIGITAL **Carrossel de imagens: O princípio de Pascal aplicado no cotidiano**

Outra aplicação do princípio de Pascal são os elevadores hidráulicos, ou prensas hidráulicas, utilizados em oficinas mecânicas e em postos de combustíveis para erguer os veículos para reparos ou trocas de óleo. Esses elevadores são compostos de duas colunas de líquido conectadas, uma com área de superfície menor e a outra com área de superfície maior.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um elevador hidráulico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

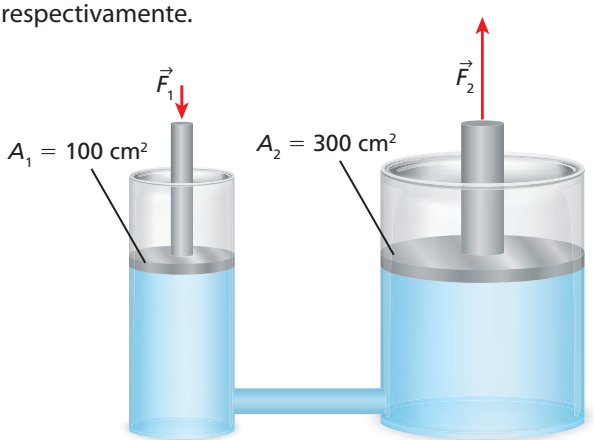
Considerando a variação de pressão em dois pontos, A e B, de um líquido qualquer, temos:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Ao aplicar uma força $\vec{F}_1$ sobre o êmbolo de menor área, um incremento de pressão é gerado e transferido ao segundo êmbolo, cuja área de superfície é maior, que é empurrado por uma força $\vec{F}_2$. Como $A_1 < A_2$, pelo princípio de Pascal, a intensidade da força exercida sobre o segundo êmbolo é maior que a exercida sobre o primeiro. Assim, é possível levantar corpos de grande massa aplicando-se forças de pequena intensidade.

Exemplo

Considere um elevador hidráulico em que os êmbolos menor e maior têm áreas de 100 cm² e 300 cm², respectivamente.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um elevador hidráulico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a. Se uma força com intensidade de 50 N é exercida pelo êmbolo menor, qual deve ser a intensidade da força $\vec{F}_2$ transmitida para o êmbolo maior?

Em unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), temos $A_1 = 100 \cdot 10^{-4}\ m^2$ e $A_2 = 300 \cdot 10^{-4}\ m^2$. Note, porém, que essa transformação das unidades de área é redundante nesse caso, já que estas se cancelam.

Pelo princípio de Pascal, podemos calcular a intensidade de $\vec{F}_2$ como:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{50\ N}{100 \cdot 10^{-4}\ m^2} = \frac{F_2}{300 \cdot 10^{-4}\ m^2}$$

$$\therefore F_2 = 150\ N$$

b. Para o êmbolo maior deslocar-se 1 m para cima, quanto o êmbolo menor deve descer?

Para calcular quanto o êmbolo menor deve descer para que o êmbolo maior suba 1 m, devemos considerar que o volume de líquido deslocado pelo êmbolo menor é igual ao volume de líquido que chega à base do êmbolo maior (líquido incompressível).

Assim, a altura (h_1) que o êmbolo menor deve descer pode ser calculada como:

$$V_1 = V_2 \Rightarrow h_1 \cdot A_1 = h_2 \cdot A_2 \Rightarrow$$

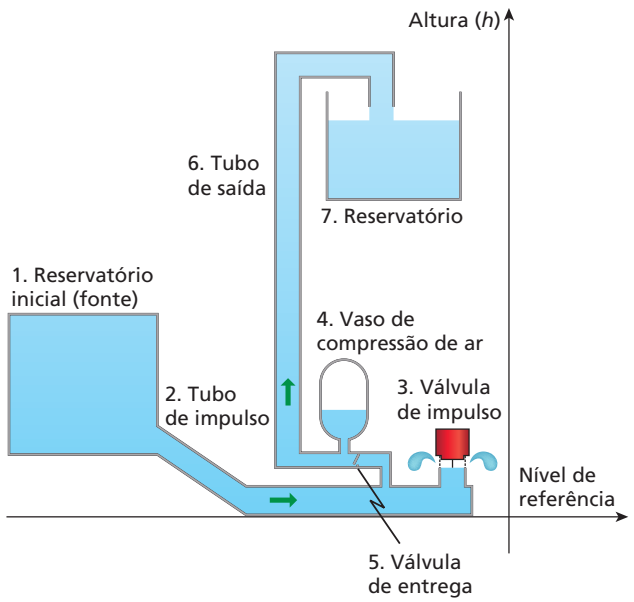
$$\Rightarrow h_1 \cdot 100 \cdot 10^{-4}\ m^2 = 1 \cdot 300 \cdot 10^{-4}\ m^2 \therefore h_1 = 3\ m$$

É importante destacar que o elevador hidráulico multiplica forças sem multiplicar trabalhos, que têm o mesmo módulo nos dois ramos do sistema de vasos comunicantes.

Carneiro hidráulico

A caixa-d'água é geralmente colocada a uma altura maior que a das torneiras ou dos canos que fazem a distribuição da água em uma residência. E quando não é possível elevar o reservatório de água? Nesse caso, o abastecimento pode ser feito por diversos dispositivos, como bombas de água. Um sistema interessante, autônomo, que não requer consumo de energia elétrica para bombear água, é o chamado carneiro hidráulico, uma bomba de elevação hidráulica.

Inicialmente, a válvula de impulso (3) encontra-se aberta (ou, nesse caso, abaixada), devido ao próprio peso. Já a válvula de entrega (5) encontra-se fechada devido ao peso da coluna de água no tubo de saída (6) que desemboca no reservatório (7). Quando a água proveniente do reservatório inicial ou da fonte (1) começa a fluir no tubo de impulso (2), ocorre o fechamento da válvula de impulso, o que leva a um aumento de pressão no interior desse tubo, fenômeno conhecido como **golpe de aríete**. Esse aumento de pressão causa a abertura da válvula de entrega, fazendo a água fluir pelo tubo de saída em direção ao reservatório. Como a água está fluindo para um reservatório acima do nível inicial, esse fluxo diminui gradativamente até se inverter, fechando novamente a válvula de entrega. Nesse instante, o fluxo de água no tubo de impulso cessa, o que leva à reabertura da válvula de impulso, reiniciando todo o processo. O vaso de compressão de ar (4) serve para amortecer o golpe de aríete, proporcionando um fluxo de água mais estável, o que melhora a eficiência do carneiro hidráulico.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de enchimento de um reservatório usando um carneiro hidráulico. (Imagem sem escala; cores fantasia.)

ÉLCIO PEDRÃO/EPAGRI

Carneiro hidráulico simples, sem o vaso de compressão de ar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

10. Na figura, representa-se uma prensa hidráulica. Esse tipo de dispositivo é uma máquina que utiliza o princípio da transmissão de pressão através de fluidos incompressíveis para gerar uma força significativa. Ela é geralmente composta de um cilindro hidráulico, que contém um líquido, como óleo ou água, e dois pistões: um pistão menor, chamado pistão de entrada, e um pistão maior, chamado pistão de trabalho. Seu funcionamento se baseia no princípio de Pascal, segundo o qual o acréscimo de pressão sobre um ponto de um líquido transmite-se integralmente para todos os pontos do líquido.

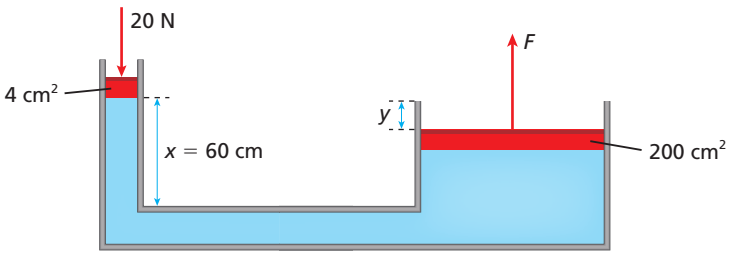
Com base nos valores indicados no esquema, determine:

a. a pressão transmitida ao êmbolo maior, em N/cm^2;

b. a intensidade da força F;

c. o valor de y.

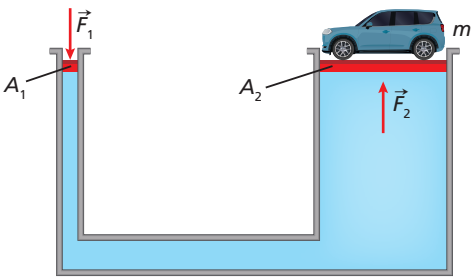
10. a. 5 N/cm^2
10. b. F = 1.000 N
10. c. $y \simeq 1$ cm



Representação esquemática de uma prensa hidráulica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

11. O macaco hidráulico é uma máquina multiplicadora de forças. Trata-se de um equipamento muito usado em postos de gasolina e oficinas para elevar automóveis. Esse tipo de dispositivo funciona com base no princípio de Pascal.

Suponha que o macaco apresente razão entre as áreas $\frac{A_2}{A_1}$ dos seus êmbolos igual a 100 e que o módulo da aceleração da gravidade local seja $g = 10$ m/s^2. Para elevar um automóvel de massa $m = 2{,}4 \cdot 10^3$ kg em um processo quase estático (muito lento), qual é a intensidade mínima F_1 da força aplicada ao êmbolo menor de área A_1? 11. 240 N



Representação esquemática de um macaco hidráulico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Empuxo e princípio de Arquimedes

Como um grande navio, com centenas de milhares de toneladas, mantém-se flutuando na água?

JOUNI NISKAKOSKI/SHUTTERSTOCK

Navio de cruzeiro em Turku, Finlândia (2023).

O navio, com todo o seu peso, não afunda porque a água aplica nele uma força vertical para cima. Essa força, aplicada pela água em corpos submersos ou parcialmente submersos, é denominada **empuxo ($\vec{E}$)**. É o empuxo que nos dá a sensação de parecermos mais leves quando estamos dentro da água.

No Laboratório de Flutuação Neutra, na Nasa, astronautas simulam uma situação com peso aparente nulo. Nesse caso, o empuxo aplicado pela água, para cima, tem a mesma intensidade do peso do astronauta com seus equipamentos, fazendo-o permanecer em equilíbrio (como se estivesse levitando), em condições semelhantes às do espaço.

ALAMY/FOTOARENA

Astronauta Jeremy Hansen em treinamento no Laboratório de Flutuação Neutra da Nasa (Houston, Estados Unidos, 2016).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Acredita-se que os primeiros estudos sobre o empuxo foram realizados pelo matemático, físico, engenheiro, inventor e astrônomo grego Arquimedes de Siracusa (287 a.C.-212 a.C.), um dos principais filósofos da natureza da Antiguidade. Em seus estudos, Arquimedes notou que, quando um corpo é submerso em um líquido, o volume de líquido deslocado é igual ao volume do corpo. O **princípio de Arquimedes** pode ser enunciado da seguinte maneira:

Um corpo imerso, total ou parcialmente, em um fluido recebe a ação de uma força vertical dirigida para cima, que tem intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo.

Assim, no caso de um corpo imerso em um líquido, podemos considerar que a intensidade (E) da força de empuxo é igual à intensidade (P) da força peso do líquido deslocado:

$$E = P \Rightarrow E = m_{\text{líq. deslocado}} \cdot g$$

Em que $m_{\text{líq. deslocado}}$ é a massa do líquido deslocado.

Considerando que o líquido tem densidade $d_{\text{líquido}}$ e que foi deslocado um volume $V_{\text{líq. deslocado}}$ e lembrando que a densidade é dada por $d_{\text{líquido}} = \dfrac{m_{\text{líq. deslocado}}}{V_{\text{líq. deslocado}}}$, temos:

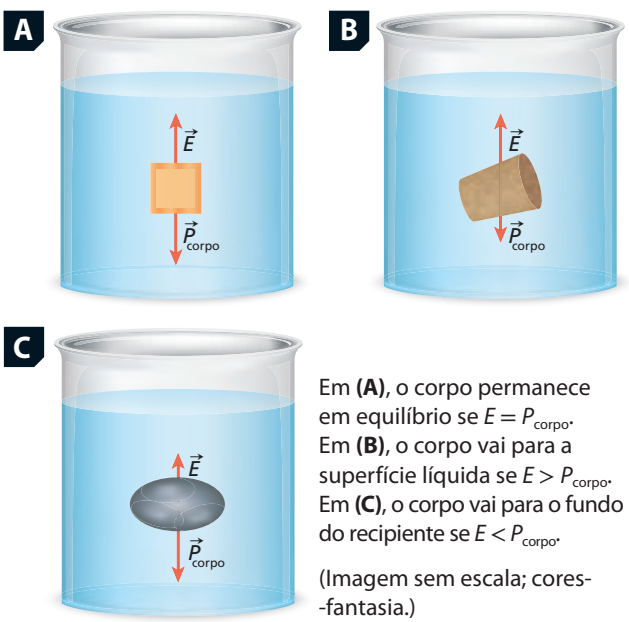
$$E = m_{\text{líq. deslocado}} \cdot g \Rightarrow E = d_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{líq. deslocado}} \cdot g$$

Como o volume de líquido deslocado é comumente chamado de volume imerso, a expressão para o cálculo do empuxo também pode ser descrita como:

$$E = d_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{imerso}} \cdot g$$

De acordo com essa expressão, o empuxo é diretamente proporcional à densidade do fluido e ao volume imerso.

Quando um corpo com peso P_{corpo} e densidade d_{corpo} é totalmente imerso em um recipiente com um líquido de densidade $d_{\text{líquido}}$, o objeto permanece em equilíbrio se $E = P_{\text{corpo}}$ (figura A); flutua e permanece em equilíbrio se $E > P_{\text{corpo}}$ (figura B); e afunda se $E < P_{\text{corpo}}$ (figura C).



Em **(A)**, o corpo permanece em equilíbrio se $E = P_{\text{corpo}}$.
Em **(B)**, o corpo vai para a superfície líquida se $E > P_{\text{corpo}}$.
Em **(C)**, o corpo vai para o fundo do recipiente se $E < P_{\text{corpo}}$.

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Exemplo

Considere que uma esfera de ferro maciço com 10 cm de diâmetro esteja totalmente imersa em óleo de cozinha de densidade $d_{\text{óleo}} = 0{,}9\ \text{g/cm}^3$. Qual é a intensidade do empuxo sobre a esfera? (Considere $g = 10\ \text{m/s}^2$.)

Como a esfera está totalmente imersa, o volume de óleo deslocado ($V_{\text{óleo}}$) é igual ao volume da própria esfera (V_{esfera}). O volume da esfera pode ser calculado como:

$$V_{\text{óleo}} = V_{\text{esfera}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0{,}10\ \text{m}}{2}\right)^3$$

$$\therefore V_{\text{óleo}} = V_{\text{esfera}} \simeq 5{,}2 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^3$$

A densidade do óleo em kg/m^3 é dada por:

$$d_{\text{óleo}} = 0{,}9\ \text{g/cm}^3 \Rightarrow d_{\text{óleo}} = 9 \cdot 10^2\ \text{kg/m}^3$$

Logo, a intensidade do empuxo do óleo sobre a esfera é:

$$E = d_{\text{óleo}} \cdot V_{\text{óleo}} \cdot g \Rightarrow$$

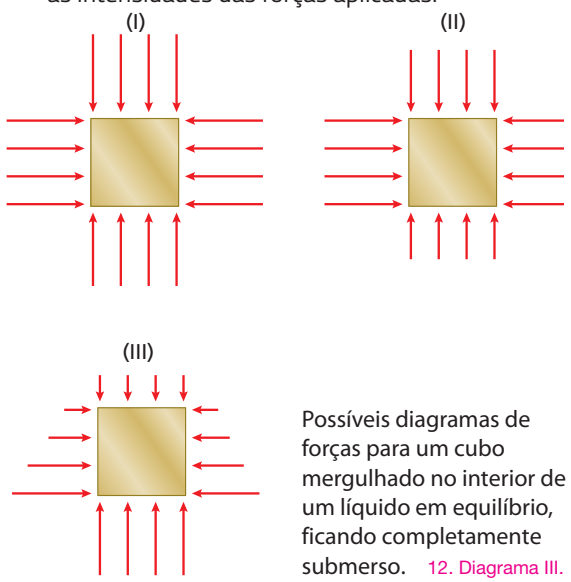
$$\Rightarrow E = 9 \cdot 10^2\ \text{kg/m}^3 \cdot 5{,}2 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^{-3} \cdot 10\ \text{m/s}^2 \therefore E \simeq 4{,}7\ \text{N}$$

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

12. Um cubo é mergulhado no interior de um líquido em equilíbrio, ficando completamente submerso. Nos três diagramas de forças a seguir, as setas representam forças aplicadas pelo líquido no cubo. Analise cuidadosamente os diagramas e escolha, justificando, qual deles representa corretamente a relação entre as intensidades das forças aplicadas.



Possíveis diagramas de forças para um cubo mergulhado no interior de um líquido em equilíbrio, ficando completamente submerso. 12. Diagrama III.

13. Enquanto você lê este texto, é correto afirmar que existe uma força de empuxo atuando sobre seu corpo? Explique.

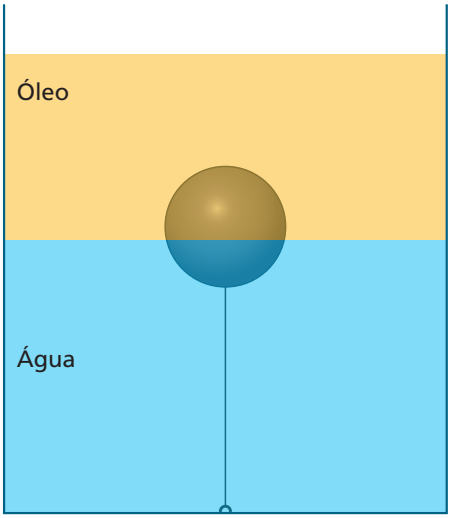
13. Sim, já que a força de empuxo atua sobre corpos imersos em fluidos, como o ar ao nosso redor.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Uma esfera, maciça e homogênea, de volume $V = 3{,}2 \cdot 10^{-5}$ m³ e massa $m = 14 \cdot 10^{-3}$ kg, está presa por um fio ideal ao fundo de um recipiente e é banhada, simultaneamente, em água e óleo, como mostra a figura a seguir.



Representação esquemática de uma esfera imersa em recipiente preenchido por óleo e água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sabendo que $\frac{3}{8}$ do seu volume está imerso na água e, portanto, $\frac{5}{8}$ de seu volume está imerso no óleo, qual é a intensidade da força de tração T no fio?

Dados: $g = 10$ m/s²; $d_{óleo} = 900$ kg/m³; $d_{água} = 1.000$ kg/m³.

Analisar o enunciado

A esfera está presa por um fio ideal enquanto está imersa em um recipiente que contém água e óleo, dois líquidos que possuem densidades diferentes. Uma consideração importante é que um corpo banhado por dois líquidos diferentes está submetido a duas forças de empuxo. Outra consideração é que a esfera é banhada por óleo e água em proporções diferentes.

Selecionar as informações relevantes

Para determinar a intensidade da tração no fio que prende a esfera, é necessário calcular as intensidades das forças de empuxo às quais o corpo está submetido ($E_{óleo}$ e $E_{água}$). Para isso, é necessário utilizar informações sobre a densidade dos líquidos e sobre o volume da esfera imerso em cada um dos líquidos, considerando as diferentes proporções fornecidas no enunciado e a aceleração da gravidade local.

Aplicar o conceito estudado

Calculemos, inicialmente, a intensidade da força de empuxo aplicada pelo óleo, que será proporcional ao volume do corpo imerso no óleo:

$$E_{óleo} = \mu_{óleo} \cdot \frac{5}{8} V \cdot g \Rightarrow E_{óleo} = 900 \cdot \frac{5}{8} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 10$$

$$\therefore E_{óleo} = 0{,}18 \text{ N}$$

Agora, a intensidade da força de empuxo aplicada pela água, que será proporcional ao volume do corpo imerso na água.

$$E_{água} = \mu_{água} \cdot \frac{3}{8} V \cdot g \Rightarrow E_{água} = 1.000 \cdot \frac{3}{8} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 10$$

$$\therefore E_{água} = 0{,}12 \text{ N}$$

Cálculo da intensidade da força peso do corpo:

$$P = m \cdot g \Rightarrow P = 14 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$\therefore P = 0{,}14 \text{ N}$$

Elaborando um diagrama de todas as forças atuantes, podemos determinar o valor da força de tração T.

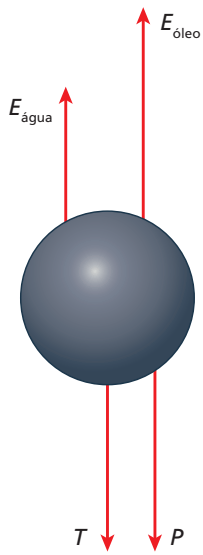


Diagrama das forças que atuam sobre a esfera na situação descrita. (Imagem sem escala.)

Para o equilíbrio da esfera, devemos ter força resultante nula; assim:

$$T + P = E_{água} + E_{óleo} \Rightarrow T + 0{,}14 = 0{,}12 + 0{,}18$$

$$\therefore T = 0{,}16 \text{ N}$$

Verificar a solução

Como a esfera está em equilíbrio, a intensidade da soma das forças que a fazem ir para cima precisa ser exatamente igual à intensidade da soma das forças que a levam para baixo, de forma que a força resultante sobre ela seja nula. Como o valor da soma das forças de empuxo que fazem a esfera ir para cima é igual à soma das forças da tração e do peso da esfera que a fazem ir para baixo, então podemos concluir que o resultado obtido é coerente.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

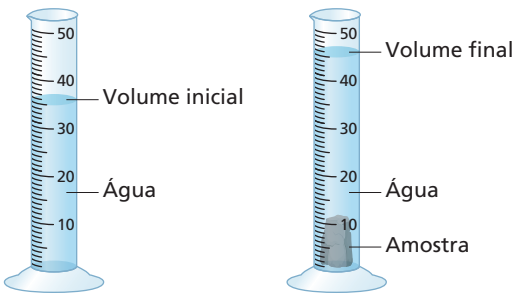
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Enem) A densidade é uma propriedade que relaciona massa e volume de um material. Um estudante iniciou um procedimento de determinação da densidade de uma amostra sólida desconhecida. Primeiro ele determinou a massa da amostra, obtendo 27,8 g. Em seguida, utilizou uma proveta, graduada em mililitro, com água para determinar o volume da amostra, conforme esquematizado na figura. Considere a densidade da água igual a 1,0 g/mL.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A densidade da amostra obtida, em g/mL, é mais próxima de: 1. Alternativa **e**.

a. 0,36
b. 0,56
c. 0,62
d. 0,79
e. 2,78

2. No balé clássico, o movimento de se apoiar na ponta do pé é chamado de "*en pointe*", em francês. É uma técnica avançada de dança clássica em que bailarinos dançam na ponta dos dedos dos pés, utilizando sapatilhas de pontas específicas para isso. A técnica exige muita força e equilíbrio, resultando em um movimento belo, mas doloroso.

STEVEN VANDERVELDEN/ACERVO DO FOTÓGRAFO

Bailarina carioca Ingrid Silva *en pointe* (Estados Unidos, 2023).

Considere uma bailarina de massa 50 kg apoiada na ponta do pé. A superfície de contato entre a ponta do pé e o solo é de 4,0 cm^2. Nessas condições, determine a pressão exercida pela bailarina sobre o piso, em unidades de medida do Sistema Internacional de Unidades. Dados: $1\ cm^2 = 1 \cdot 10^{-4}\ m^2$ e $g = 10\ m/s^2$ 2. $\simeq 1 \cdot 10^6$ Pa

3. Em catástrofes ambientais, a ação do Corpo de Bombeiros é essencial para garantir a segurança da população. Ao fazer o resgate de vítimas em fluidos como a lama, por exemplo, os bombeiros evitam ao máximo ficar de pé, para não atolar; então, na maior parte do tempo, precisam rastejar na lama.

CADU ROLIM/ FOTOARENA

Bombeiro rasteja na lama durante operação de busca e resgate de vítimas do desastre ambiental em Brumadinho, MG (2019).

a. Explique, utilizando conceitos físicos, por que é adotado o procedimento de rastejar.
3. a. Para aumentar a área de contato e diminuir a pressão.

b. Calcule, de maneira aproximada, a pressão exercida pelo corpo de um bombeiro deitado em contato com o solo. Para a solução desse problema, você deverá estimar alguns dados, como a área de contato e a massa do bombeiro. 3. b. Se o bombeiro tiver 75 kg e a área de contato for 1,5 m^2, a pressão será 500 N/m^2.

4. Ao viajar de avião ou descer uma serra em um veículo, algumas pessoas relatam que sentem suas orelhas "tamparem". Explique esse sintoma com base no conceito de pressão.
4. Esse sintoma é causado pela variação da pressão atmosférica.

5. A pressão nas profundezas oceânicas é resultado da adição da pressão atmosférica, de valor 1 atm, com a pressão exercida pela coluna líquida sobre o ponto considerado. Admitindo-se a densidade da água igual a $1 \cdot 10^3\ kg/m^3$ e a intensidade da aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$ e sabendo que $1\ atm = 1 \cdot 10^5\ Pa = 1 \cdot 10^5\ N/m^2$, a pressão total sobre um submarino a 3,8 km de profundidade no oceano, é de: 5. Alternativa **b**.

a. 423 atm
b. 381 atm
c. 265 atm
d. 221 atm
e. 195 atm

6. A pressão hidrostática ou pressão efetiva de um líquido é uma propriedade apresentada pelos fluidos em repouso e desempenha um papel crucial em diversas áreas, como Engenharia (na construção de barragens) e Medicina (nas medições da pressão sanguínea). Ela está relacionada à distribuição da pressão em um fluido em repouso devido à ação da gravidade.

a. Como a pressão hidrostática varia com a profundidade em um líquido em repouso? 6. a. Aumenta linearmente.

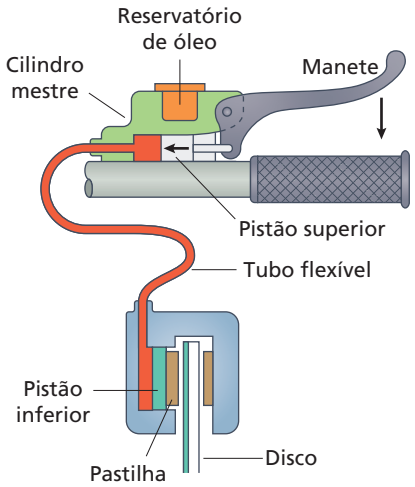
b. Esboce o gráfico da pressão hidrostática (P_h) em função da profundidade (h). 6. b. Gráfico de uma reta crescente com coeficiente angular igual a dg.

c. Como é o gráfico da pressão total (P_{total}) sobre um mergulhador em função da profundidade (h)?
6. c. Igual ao do item anterior, mas com coeficiente linear igual a p_{atm}.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. (Vunesp-Facisb-SP) O sistema do freio hidráulico de uma motocicleta, esquematizado na figura, funciona de acordo com o princípio de Pascal. Quando o motociclista aciona o manete, ocorre transmissão de movimento para o pistão superior, o qual pressiona o fluido para baixo. O fluido, por sua vez, move o pistão inferior, que pressiona a pastilha contra o disco, freando a motocicleta.

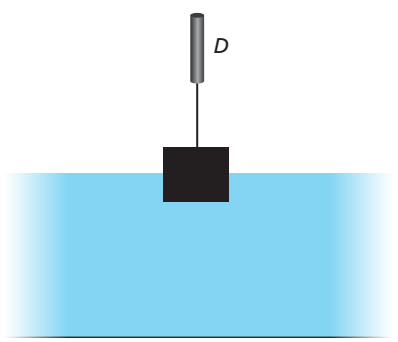


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando-se que o fluido no sistema de freio seja incompressível e supondo-se que o diâmetro do pistão inferior seja o dobro do diâmetro do pistão superior, quando uma força de intensidade 4,0 N é aplicada no êmbolo do pistão superior, perpendicularmente à sua superfície, a intensidade da força que o êmbolo do pistão inferior aplica na pastilha é 7. Alternativa **e**.

a. 1,0 N
b. 2,0 N
c. 8,0 N
d. 12,0 N
e. 16,0 N

8. (Enem) Em um experimento realizado para determinar a densidade da água de um lago, foram utilizados alguns materiais conforme ilustrado: um dinamômetro *D* com graduação de 0 N a 50 N e um cubo maciço e homogêneo de 10 cm de aresta e 3 kg de massa. Inicialmente, foi conferida a calibração do dinamômetro, constatando-se a leitura de 30 N quando o cubo era preso ao dinamômetro e suspenso no ar. Ao mergulhar o cubo na água do lago, até que metade do seu volume ficasse submersa, foi registrada a leitura de 24 N no dinamômetro.



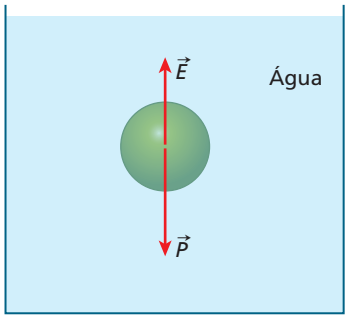
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando que a aceleração da gravidade local é de 10 m/s^2, a densidade da água do lago, em g/cm^3, é:

a. 0,6
b. 1,2
c. 1,5
d. 2,4
e. 4,8

8. Alternativa **b**.

9. Um objeto fora da água apresenta um peso de 100,0 N, o que significa que a força gravitacional exercida sobre ele tem intensidade 100,0 N. Quando esse mesmo objeto é totalmente mergulhado em água, conforme ilustra a figura, ele aparenta ter um peso de 60,0 N. Isso ocorre devido à força de empuxo aplicada pela água no objeto.



Representação esquemática das forças peso ($\vec{P}$) e de empuxo ($\vec{E}$) atuando sobre um objeto mergulhado em água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O empuxo é uma força ascendente que age em um corpo imerso total ou parcialmente em um fluido, e tem a mesma intensidade que o peso do fluido deslocado pelo corpo. Sabendo-se que a densidade da água é 1,0 g/cm^3, determine:

a. a intensidade da força de empuxo aplicada pela água sobre o objeto; 9. a. 40,0 N

b. a densidade do objeto. 9. b. 2,5 g/cm³

10. (EBMSP-BA) A pandemia de covid-19 gerou uma alta demanda por máscaras de proteção para profissionais da área de saúde. Neste contexto, foi organizado o Projeto *Face Shield for Life* 3-D, um *hub* de *makers* voltado para a confecção de material de proteção facial por meio de impressão 3-D, composto de um grupo de voluntários, profissionais de saúde, professores, alunos e colaboradores de várias áreas e instituições, cujo grupo gestor é formado, entre outros, por pesquisadores da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública (Bahiana).

O *face shield* produzido tem uma densidade de 1,2 g/cm^3. No processo de higienização, após a produção, o material é imerso em um tanque com álcool, de densidade 0,9 g/cm^3, em um local onde o módulo da aceleração da gravidade é 10,0 m/s^2. Com base nas informações e nos conhecimentos de Mecânica, pode-se afirmar corretamente que o módulo da aceleração do *face shield* que executa movimento descendente, quando totalmente imerso no álcool e antes de encostar na superfície inferior do tanque, é igual a

a. 1,0 m/s^2
b. 2,5 m/s^2
c. 5,0 m/s^2
d. 10,0 m/s^2
e. 12,0 m/s^2

Nota: despreze no movimento as forças de origem viscosa. 10. Alternativa **b**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 12

Transmissão de calor e mudanças de estado físico

ANDRE DIB/PULSAR IMAGENS

Floresta Amazônica sob névoa ao amanhecer no Parque Estadual Chandless (Manoel Urbano, AC, 2024).

No planeta Terra, a água está em constante movimento pela atmosfera, por continentes, rios, mares e oceanos. Esse ciclo de manutenção da água, conhecido como ciclo da água ou ciclo hidrológico, é fundamental para a vida no planeta e para a manutenção de diferentes biomas, como o Pantanal e a Amazônia, determinando períodos de chuvas e de secas em diferentes regiões do Brasil. Para entender como esse mecanismo funciona, é importante compreender o conceito de calor e como ele é transmitido entre diferentes corpos.

Neste capítulo, vamos estudar o conceito de calor, a transmissão de calor e as mudanças de estado físico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Introdução ao conceito de calor

O **calor** é energia térmica em movimento, ou em trânsito, decorrente da diferença de temperaturas entre dois corpos. Um corpo de maior temperatura transfere calor para outro corpo de menor temperatura de maneira natural e espontânea. É o calor recebido ou cedido pelos corpos que leva ao aumento ou à diminuição de suas temperaturas, respectivamente; por isso, consideramos o calor uma forma de **energia em trânsito**.

No ciclo hidrológico, por exemplo, há transmissão de calor quando os raios solares incidem na água de rios e lagos, provocando sua evaporação. Mas a transmissão de calor pode ser percebida em várias outras situações do dia a dia, por exemplo, ao esquentarmos água para cozinhar um alimento, ao entrarmos em um ambiente com ar-condicionado, ao segurarmos uma xícara de chá quente, o que aquece nossas mãos em um dia frio, ou ao nos aproximarmos do asfalto aquecido em um dia em que a temperatura está muito alta.

Transmissão de calor

A transmissão de calor entre diferentes corpos pode ocorrer por três processos: irradiação, convecção e condução.

Irradiação

A energia radiante emanada pelo Sol, antes de chegar à atmosfera terrestre e atingir a superfície do planeta, atravessa milhões de quilômetros no vácuo. Nesse caso, não há matéria para promover a transmissão do calor. Dá-se o nome de **irradiação** térmica ao processo de transmissão de calor que dispensa qualquer meio material para ocorrer. Na irradiação, o calor é transmitido por ondas eletromagnéticas, principalmente na forma de radiação infravermelha. É por esse processo que a atmosfera da Terra e a água de rios, lagos e mares são aquecidas.

GENIVAL GONZAGA/ALAMY/FOTOARENA

A atmosfera da Terra e a água de rios, lagos e mares recebem energia térmica pelo processo de irradiação. (Lago do Acajatuba, AM, 2020.)

WUNDERVISUALS/GETTY IMAGES

Pessoas ao redor de uma fogueira.

Existem três fenômenos a se considerar quando ondas eletromagnéticas atingem a interface de separação entre dois meios: reflexão (quando atingem a superfície e parte das ondas volta a se propagar no meio de origem), refração (quando parte das ondas incidentes atravessa a superfície, passando de um meio para o outro) e absorção. No processo de absorção, a interface absorve a energia relativa à porção da onda que a atinge. A transferência de calor por irradiação consiste, portanto, na absorção de parte da energia propagada pela onda eletromagnética.

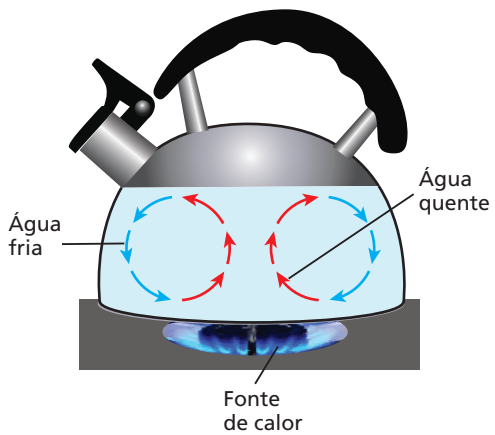
Uma fogueira que, em combustão, emana calor aquece a todos ao seu redor. Nesse caso, a energia térmica é transmitida por irradiação. Ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho, emitidas pelas chamas, são absorvidas pelo ar e pelas pessoas ao redor da fogueira, aquecendo-os.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Convecção

Quando a propagação de energia térmica se dá pelo transporte de matéria, o processo de transmissão de calor é chamado de **convecção**. Por exemplo, ao aquecer no fogão uma chaleira com água, o calor é recebido pelo fundo da chaleira e transferido para a água em contato com ele. A porção de água aquecida aumenta de volume, diminui de densidade e se desloca para as camadas mais altas do líquido. É importante recordar que a densidade (d) de uma substância é a razão entre sua massa (m) e o respectivo volume (V): $d = \frac{m}{V}$

Ao se deslocar do fundo para cima, a camada de água aquecida ocupa o lugar de uma porção de água mais fria e mais densa que, por sua vez, se desloca das camadas superiores para as subjacentes. Esse processo faz a água circular no interior da chaleira, formando **correntes de convecção**, e se estende de maneira que o calor recebido pela chaleira se espalhe por todo o líquido como representa a figura a seguir. Portanto, a convecção é o processo em que a distribuição do calor ocorre em razão do deslocamento de matéria. Ela só é possível em fluidos, como líquidos e gases, pois envolve movimentos da matéria pela diferença de densidades.



SANDRA HOMART/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de correntes de convecção na água que está sendo aquecida dentro de uma chaleira. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

As correntes de convecção também explicam a formação das brisas marítimas. Durante o dia, a porção de ar que recobre a superfície terrestre, que fica sobre toda a região costeira, se aquece mais que a porção de ar que recobre a água do mar. O ar sobre a região costeira sobe e é ocupado pelo ar frio que estava sobre o mar, o que dá origem a uma brisa que se desloca do mar para o continente. Durante a noite, esse processo se inverte: a região costeira esfria mais rapidamente que a água do mar. Desse modo, o ar sobre a região costeira se torna mais frio que o ar sobre o mar. Portanto, à noite a brisa sopra da costa para o mar.

Formação das brisas marítimas

PAULO CESAR/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA. **Brisas marítimas**. Lisboa, 2024. Disponível em: https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=aladin.brisa.mar.xml. Acesso em: 14 set. 2024.

Representação da formação das brisas marítimas pelo processo de convecção. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Dentro de geladeiras domésticas convencionais, a refrigeração ocorre por meio de correntes de convecção que se estabelecem no ar, como mostra a figura a seguir. O congelador, geralmente instalado na parte superior do refrigerador, esfria o ar, que se torna mais denso. Esse ar, então, desce, retirando energia térmica dos alimentos no caminho. Com isso, o ar mais quente e menos denso situado na parte de baixo sobe, e esse ciclo se repete até que, quando se estabelece internamente uma temperatura de equilíbrio, um termostato desliga automaticamente o sistema.

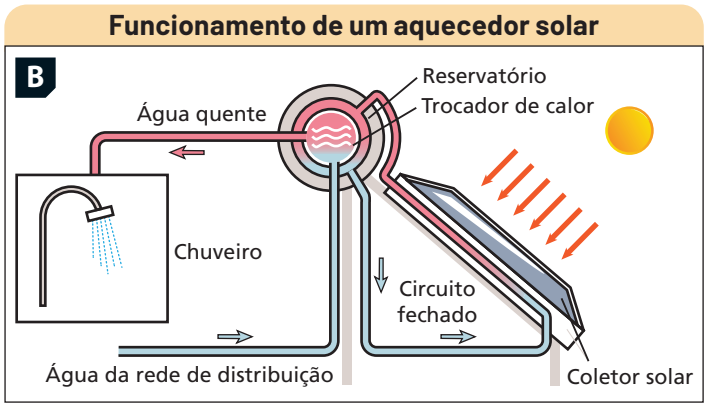
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Correntes de convecção no interior de uma geladeira doméstica convencional: ar frio e mais denso desce e ar quente e menos denso sobe. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Embora os modos de propagação de calor possam ser estudados separadamente, é comum que esses processos ocorram de forma conjunta. Um exemplo é o sistema de aquecimento solar de água presente em algumas casas (figura A). Nesse equipamento, a água é aquecida em um coletor solar por irradiação e se desloca naturalmente por canículas metálicas existentes dentro do coletor até um reservatório – por convecção térmica –, sem necessidade de um motor ou de qualquer dispositivo que a bombeie. Do reservatório, a água aquecida é distribuída para o chuveiro, por exemplo (figura B).

BENEDEK ALPAR/SHUTTERSTOCK



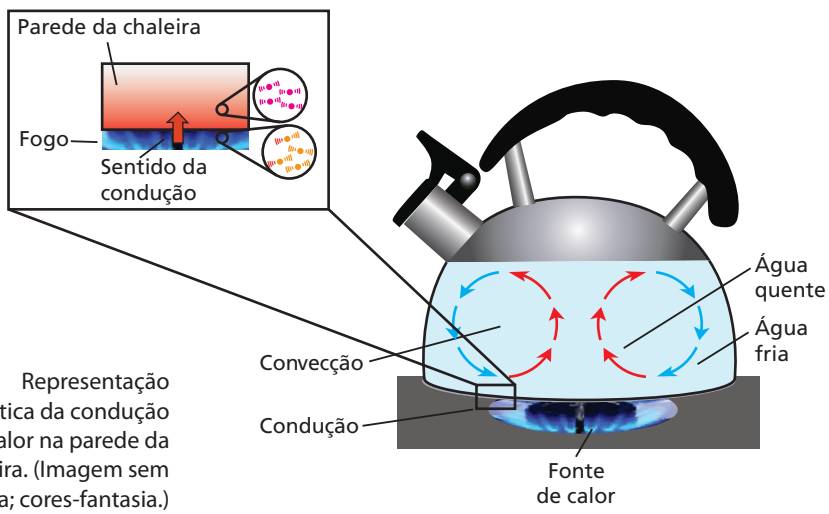
SANDRA HOMART/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em CAVALCANTI, E. S. C. **Energia solar para aquecimento de água**. Viçosa: CPT, 2008.

(A) Aquecedor solar no telhado de uma casa. **(B)** Representação esquemática do funcionamento de um aquecedor solar. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Condução

Dentro da chaleira com água, da parte inferior para a parte superior, a energia térmica é transferida por convecção devido ao movimento do líquido. Mas há outro processo que ocorre nessa situação: a transferência de calor da chama da fonte térmica para o material que compõe a chaleira. A chama está em uma temperatura maior que a parede inferior da chaleira. Portanto, as moléculas do gás que compõem a chama apresentam um grau de agitação maior que as moléculas do metal que compõem a parede da chaleira. Por colisões sucessivas entre as moléculas do gás e as moléculas da parede, o grau de agitação das moléculas da parede da chaleira aumenta e, consequentemente, sua temperatura aumenta. Essa forma de transferência de energia térmica, molécula a molécula, que exige um meio material (preferencialmente sólido) para ocorrer, é chamada de **condução**.



Representação esquemática da condução de calor na parede da chaleira. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

SANDRA HOMART/ARQUIVO DA EDITORA

Os materiais podem ser condutores térmicos ou isolantes térmicos. Os materiais em que a transferência de calor por condução é mais rápida são chamados de **condutores térmicos**; por exemplo, os metais são, em geral, bons condutores de calor, especialmente o cobre e o alumínio, além da prata e do ouro. Já os materiais em que a transferência de calor por condução é mais lenta são chamados de **isolantes térmicos**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

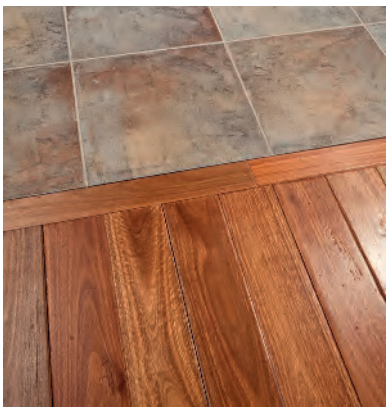
O gelo, usado para construir iglus nas regiões do Ártico, é um isolante térmico. Mesmo quando a temperatura externa está próxima de –45 °C, a temperatura dentro de um iglu pode ser mantida a poucos graus Celsius acima de zero. Também são exemplos de isolantes térmicos a lã, o vidro, a madeira, a borracha e o isopor, entre outros materiais. Por isso, os cabos e as alças de panelas são de plástico, madeira ou ebonite (borracha dura), que, por serem bons isolantes térmicos, minimizam a transferência de calor por condução para quem os manipula. Em contrapartida, como os metais são bons condutores de calor, as panelas são geralmente feitas de metais, como o ferro ou o alumínio.

TON KOENE/EASY MEDIABANK

KZENON/SHUTTERSTOCK

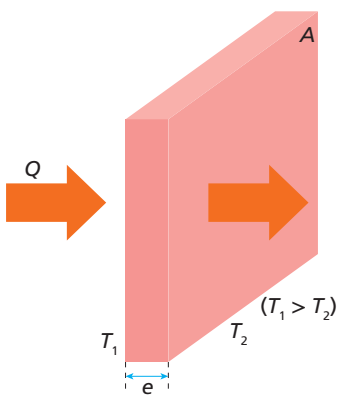
(A) O gelo, um isolante térmico, é usado na construção de iglus. (Gjoa Haven, Canadá, 2009.) **(B)** Por serem bons condutores de calor, os metais são usados na confecção de panelas. Os cabos das panelas, entretanto, devem ser feitos de materiais isolantes térmicos.

Ao caminhar descalço em um ambiente que possui dois tipos de piso, por exemplo, de cerâmica e de madeira, e passar de um para o outro, você tem a sensação de que um é mais frio (o de cerâmica) que o outro (o de madeira). Porém, esses dois pisos encontram-se à mesma temperatura: a temperatura ambiente. Essa percepção ocorre devido ao fato de a cerâmica ser melhor condutora de calor do que a madeira. Por isso, seus pés perdem energia térmica muito rapidamente para a cerâmica, o que provoca maior sensação de frio.


CHANDLERPHOTO/GETTY IMAGES

A sensação nos pés descalços é diferente ao se caminhar em um piso de cerâmica ou em um piso de madeira.

Experimentalmente, o matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) elaborou uma lei, hoje conhecida como **lei de Fourier**, sobre o processo de condução. Vamos considerar dois ambientes com temperaturas diferentes e constantes, T_1 e T_2, sendo $T_1 > T_2$, separados por uma parede com área A e espessura e, como mostra a figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da transferência de calor por condução entre dois ambientes separados por uma parede. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A quantidade de calor Q que atravessa a parede durante um intervalo de tempo Δt é chamada de **fluxo de calor** (ϕ), dado por:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida de fluxo de calor é o watt (W), que é igual a J/s.

Verifica-se experimentalmente que a quantidade de calor Q que atravessa a parede pode ser expressa matematicamente por:

$$Q = K \cdot \frac{A \cdot (T_1 - T_2) \cdot \Delta t}{e}$$

Em que K é uma constante que varia de acordo com o material, nesse caso, a parede, e representa o **coeficiente de condutividade (ou de condutibilidade) térmica**. Assim, o fluxo de calor pode ser reescrito como:

$$\phi = K \cdot \frac{A \cdot (T_1 - T_2)}{e}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), K tem como unidade de medida J/(s · m · K) ou W/(m · K), que também correspondem a J/(s · m · °C), já que variações de temperatura em K ou °C são medidas pelo mesmo número. Outra forma de expressar K é por meio de cal/(s · m · K). Nesse caso, a correspondência é dada por: 1 cal/(s · m · K) = 4,184 W/(m · K).

A tabela a seguir apresenta o coeficiente de condutividade térmica (K) de alguns materiais.

Condutividade térmica (K) de alguns materiais

Material	K [W/(m · K)]
Ar	0,026
Madeira (carvalho)	0,16
Água	0,61
Plástico (baquelite)	1,4
Gelo (0 °C)	2,2
Ferro	80,2
Alumínio	237
Ouro	317

Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. Boca Raton: CRC, 2016.

Valores da condutividade térmica (K) de alguns materiais.

Convém destacar que, para o vácuo, $K = 0$ e que, quanto maior for o valor de K de um material, melhor condutor térmico ele é.

Exemplo

Considere uma caixa de isopor cheia de latas de refrigerante, gelo e água, com uma espessura de 3 cm e área superficial total de 1 m². Essa caixa está em um ambiente a 30 °C, e seu interior se encontra a 0 °C. Considerando a condutividade do isopor como $K = 0{,}01$ J/(s · m · °C), determine o sentido do fluxo de calor e seu valor.

O fluxo de calor se dá do ambiente mais quente para o mais frio, portanto, de fora para dentro da caixa. O valor do fluxo é:

$$\phi = K \cdot \frac{A \cdot (T_1 - T_2)}{e} \Rightarrow \phi = 0{,}01 \text{ J/(s} \cdot \text{m} \cdot \text{°C)} \cdot \frac{1 \text{ m}^2 \cdot (30 \text{ °C} - 0 \text{ °C})}{0{,}03 \text{ m}}$$

$$\therefore \phi = 10 \text{ J/s}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Por vezes ouvimos frases equivocadas do ponto de vista físico, como: "Feche a janela para o frio não entrar". Com base no que você estudou sobre o conceito de calor, explique por que essa frase é equivocada.

1. O frio, na verdade, não "entra"; do ponto de vista físico, o que realmente ocorre é a transferência de calor.

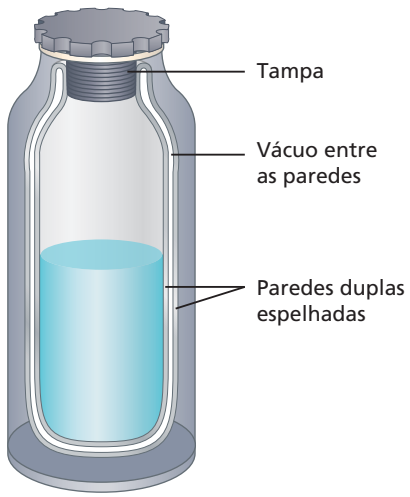
2. Garrafas térmicas têm larga utilização hoje em dia, tendo sido criadas em 1892 pelo físico-químico escocês James Dewar (1842-1923) com a finalidade de manter certos materiais em situações criogênicas, isto é, em baixíssimas temperaturas.

HERITAGE IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

James Dewar em seu laboratório (Londres, c. 1890).

Garrafas térmicas de boa qualidade propõem manter a temperatura de seu conteúdo praticamente constante por grandes intervalos de tempo. Para isso, são utilizadas estratégias de transmissão de calor, entre as quais haver uma ampola de vidro com paredes duplas espelhadas interna e externamente dentro da qual um material, geralmente líquido, é armazenado. Entre essas paredes, é feito um bom vácuo e, além disso, recomenda-se que a tampa da garrafa permaneça sempre fechada, devendo-se evitar aberturas desnecessárias.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação de uma garrafa térmica em corte com seus principais elementos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Com base no texto e no que você estudou sobre transmissão de calor, classifique como correta ou incorreta cada uma das proposições a seguir.

I. As paredes da ampola são de vidro porque esse material é um bom isolante térmico.

II. As paredes duplas de vidro da ampola são espelhadas interna e externamente para minimizar as trocas de calor entre o conteúdo e o ambiente externo por irradiação.

III. Faz-se vácuo entre as paredes duplas de vidro da ampola para minimizar as trocas de calor entre o conteúdo e o ambiente externo por convecção.

IV. Deve-se manter a garrafa térmica fechada para minimizar as trocas de calor entre o conteúdo e o ambiente externo por condução. 2. I. correta; II. correta; III. incorreta; IV. incorreta

3. Casacos de materiais sintéticos de poliamida com nervuras horizontais infladas com ar se tornaram populares por seu eficiente isolamento térmico.

ARTEM AVETISYAN/SHUTTERSTOCK

Casaco de material sintético de poliamida.

Indique qual das afirmações a seguir é mais adequada para explicar o bom isolamento térmico proporcionado por esse tipo de agasalho. 3. Alternativa **d**.

a. O material sintético de poliamida do casaco reflete o frio do ambiente externo, impedindo que a baixa temperatura atinja o corpo da pessoa.

b. As nervuras horizontais do casaco impedem a ocorrência de correntes de convecção.

c. O ar existente nas nervuras horizontais do casaco tem um elevadíssimo calor específico sensível, o que impede que esse ar esfrie aquém da temperatura normal do corpo humano.

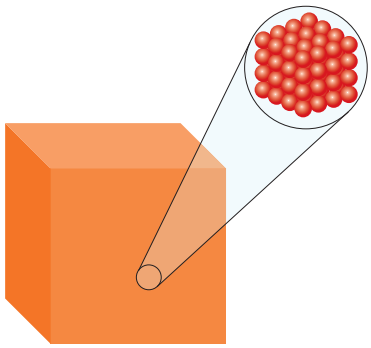
d. O ar existente nas nervuras horizontais do casaco, assim como o próprio material sintético de poliamida, são ótimos isolantes térmicos, o que minimiza, por condução, as perdas de energia térmica do corpo da pessoa para o ambiente externo.

e. Mantendo-se o casaco bem fechado, aumenta a transpiração da pessoa, o que reduz a sensação de frio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Mudanças de estado físico

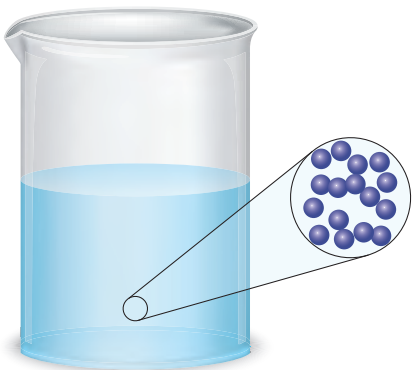
A



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

No estado sólido, os átomos ou as moléculas que compõem a substância estão fortemente ligados, arranjados de forma regular. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

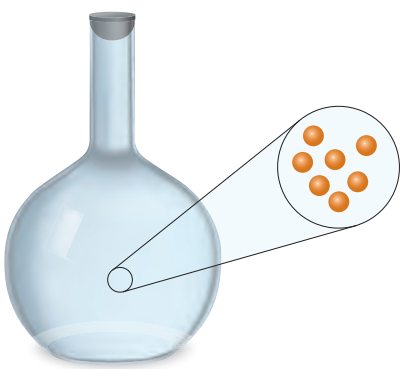
B



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

No estado líquido, a intensidade das forças de atração entre os átomos e as moléculas da substância é menor do que no estado sólido. (Imagem sem escala; cores fantasia.)

C



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

No estado gasoso, a intensidade das forças de atração entre os átomos e as moléculas da substância é muito menor do que no estado líquido, fazendo com que ela ocupe todo o espaço do ambiente ou recipiente em que estiver retida. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

De maneira geral, o estado físico de uma substância está relacionado ao estado de agregação das moléculas e dos átomos que a compõem.

No **estado sólido**, os átomos e as moléculas de uma substância estão fortemente ligados por causa da alta intensidade das forças de atração e podem formar uma estrutura geométrica regular, chamada de estrutura cristalina (figura A). Nesse estado físico, a ligação entre as partículas é tão forte que dificulta sua movimentação; assim, os corpos no estado sólido têm forma e volume bem definidos.

Quando um sólido é aquecido, suas moléculas adquirem maior energia cinética e as ligações intermoleculares começam a ser rompidas. A intensidade das forças de atração entre os átomos e as moléculas diminui, por isso os agrupamentos atômicos apresentam um movimento desordenado quando atingem determinada temperatura. Nessa condição, a matéria está no **estado líquido**. Embora não apresentem forma definida, assumindo o formato do recipiente que as contém, as substâncias no estado líquido ainda têm o volume definido (figura B). Um litro de água, por exemplo, assumirá a forma de uma caneca ou de uma garrafa, mas manterá o volume de um litro em ambos os recipientes.

O aquecimento de um líquido modifica o estado de agregação entre os átomos e as moléculas e, assim, a intensidade das forças de atração entre eles passa a ser bem menor. Com o ganho de energia térmica, a substância tem sua temperatura elevada, isto é, a agitação térmica aumenta e a magnitude da velocidade média dos agrupamentos atômicos torna-se cada vez maior, fazendo com que ocupem todo o espaço do ambiente que os retém. Nessa condição, a matéria está no **estado gasoso** e sua forma e seu volume vão depender do recipiente e das condições de pressão e temperatura, respectivamente (figura C).

Portanto, de maneira geral, podemos dizer que os estados físicos da matéria podem ser diferenciados pelo espaçamento entre os átomos e as moléculas que a compõem, e ela pode se apresentar em qualquer estado, dependendo da temperatura e de uma grandeza escalar denominada pressão (p). Vamos aprofundar o estudo da pressão posteriormente, mas podemos defini-la por enquanto como o quociente da intensidade (F) da força aplicada perpendicularmente a uma superfície pela área (A) dessa superfície.

$$p = \frac{F}{A}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a pressão é medida em N/m^2, também chamada de **pascal** (**Pa**). Outras unidades de medida muito comuns são atm (1 atm = 1,01325 · 10^5 Pa), bar (1 bar = 10^5 Pa) e mmHg (1 mmHg = 133,322 Pa).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para dada pressão, cada substância pura apresenta suas temperaturas características de mudança de estado físico, sendo cada uma dessas mudanças classificada com um nome específico.

Fusão: passagem do estado sólido para o líquido.

Vaporização: passagem do estado líquido para o gasoso. Quando esse processo ocorre de forma lenta, é chamado de **evaporação**. É o que acontece com uma poça de água ao receber radiação solar, por exemplo. Quando o líquido atinge uma temperatura máxima, que depende da pressão, a vaporização se torna mais rápida e turbulenta, formando borbulhas. Nesse caso, a vaporização é chamada de **ebulição**. É o que acontece em uma chaleira com água recebendo calor da chama de um fogão. Depois de certo tempo, a água começa a ferver – entra em ebulição.

SAMUEL BLANC/BIOSPHOTO/AFP

SERGI REBOREDO/ZUMA PRESS WIRE/EASY MEDIABANK

(A) Exemplo de fusão. O derretimento de uma geleira na Noruega levou à formação de uma cachoeira (Bråsvellbreen, Svalbard, 2023). **(B)** Água evaporando de uma fonte termal no Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos, é um exemplo de vaporização (2023).

Condensação (ou liquefação): passagem do estado gasoso para o líquido. É o que acontece quando o orvalho se forma nas folhas das plantas. As partículas de água líquida que surgem na superfície da folha resultam da condensação da umidade presente no ar. Também há condensação quando retiramos uma bebida gelada de um refrigerador. Nesse caso, o recipiente fica externamente coberto por gotículas de água, fruto da passagem do estado gasoso para o líquido de vapor de água presente no ar atmosférico.

Solidificação: passagem do estado líquido para o sólido. É por esse processo que o gelo se forma no topo das montanhas mais altas, por exemplo, e, também, que água líquida se transforma em gelo em um *freezer*.

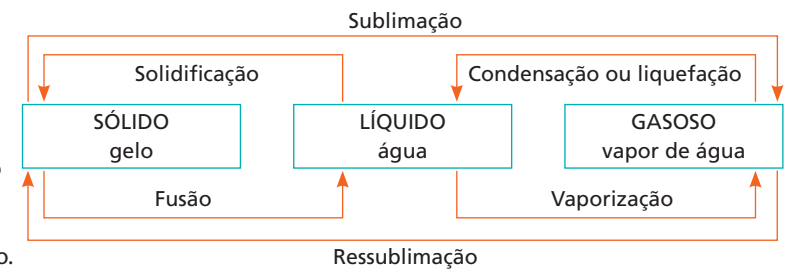
LASZLO CSANAKI/GETTY IMAGES

LUCAGAL/GETTY IMAGES

(A) Exemplo de condensação. Orvalho formado nas folhas após uma noite fria. **(B)** Em baixas temperaturas, o gelo formado é decorrente da solidificação.

Sublimação: passagem direta do estado sólido para o gasoso sem passar pelo estado líquido. É o que acontece com o dióxido de carbono sólido, chamado de gelo-seco, usado em festas e espetáculos para formar, com a água, uma névoa característica. Do estado gasoso para o sólido, o processo é chamado de **ressublimação**.

O esquema a seguir apresenta um resumo das mudanças de estado físico.



Representação esquemática das mudanças de estado físico.

PHOTO RESEARCHERS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Exemplo de sublimação. O gelo-seco passa diretamente do estado sólido para o gasoso.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Leituras de Física: Física térmica

COPPELLI, A. C. *et al*. **Leituras de Física**: Física térmica. São Paulo: GREF – Instituto de Física da USP, jun. 1998. Disponível em: http://www.if.usp.br/gref/termo/termo3.pdf. Acesso em: 14 set. 2024.

Esse texto do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), do Instituto de Física da USP, apresenta conceitos, experimentos e atividades diversificadas sobre as mudanças de estado físico e o ciclo da água.

Ciclo da água

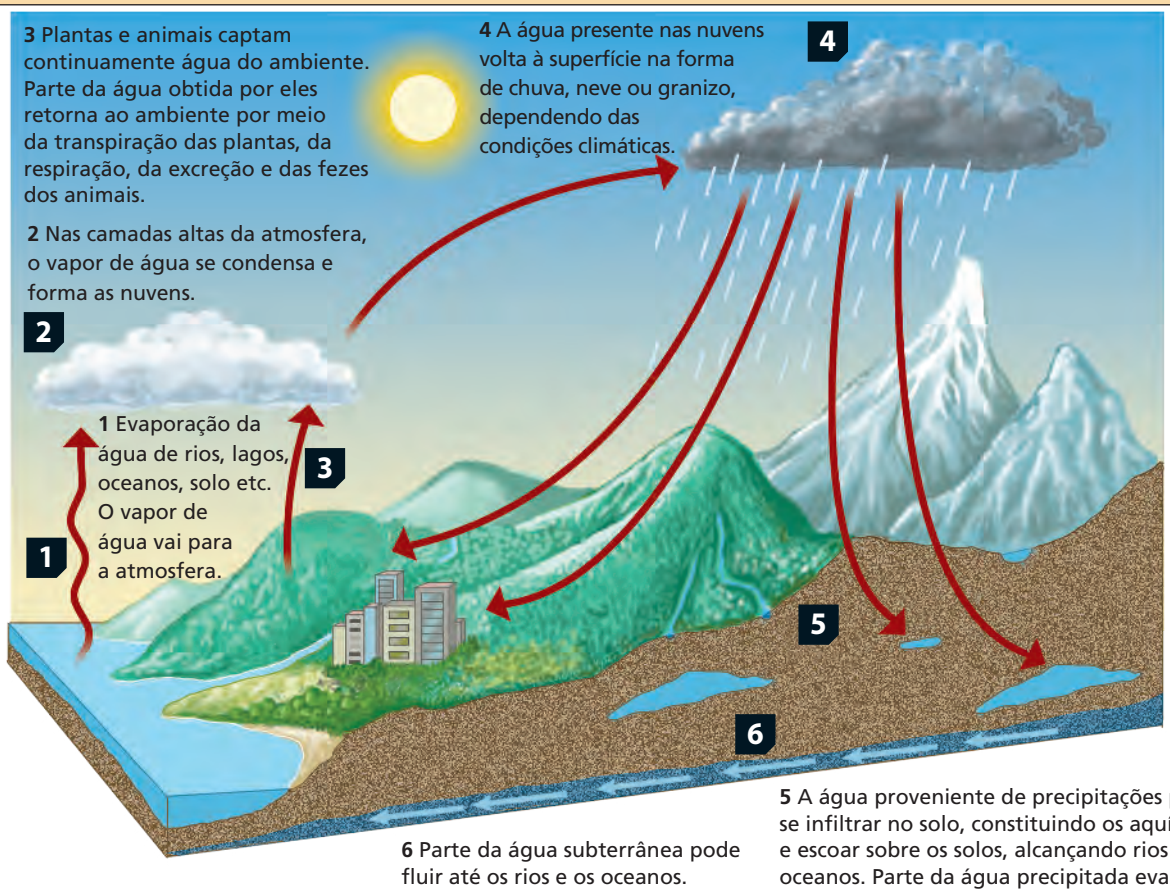
O ciclo da água, representado de modo simplificado na figura a seguir, é um dos que ocorrem na natureza. Nele, há mudanças de estado físico em função principalmente de variações de temperatura verificadas no ambiente.

O Sol é a principal fonte de energia que mantém o ciclo da água e está diretamente envolvido com a evaporação da água líquida presente no solo e nos diferentes tipos de meios aquáticos, como rios, mares e lagos, e indiretamente relacionado ao processo de transpiração que ocorre nas plantas terrestres. Nas florestas, as árvores são importantíssimas na transferência da água na forma líquida presente no solo para a forma de vapor na atmosfera – e isso se dá pela transpiração. Uma única árvore pode ser capaz de transpirar centenas de litros de água por dia.

O vapor de água decorrente da evaporação e da transpiração passa para a atmosfera, onde circula em função das correntes de convecção do ar e de outros processos atmosféricos. Esse vapor, ao sofrer resfriamento, condensa-se formando gotículas de água que podem se acumular para constituir as nuvens. Quando o resfriamento é ainda maior, há possibilidade de haver a formação de cristais de gelo. A água presente nas nuvens volta à superfície terrestre na forma de chuva, neve ou granizo (pedras sólidas de gelo). Na superfície, parte dessa água vai para mares, rios, lagos e outros ambientes aquáticos ou penetra pelas camadas permeáveis do solo e se acumula em reservatórios subterrâneos, denominados lençóis freáticos.

No caso dos seres vivos, a água líquida entra no corpo por meio da absorção ou ingestão. Parte da água presente no corpo dos seres vivos retorna ao ambiente pela respiração, pela excreção, pelas fezes dos animais e, principalmente, pela transpiração de plantas terrestres.

Ciclo da água



Fonte: elaborado com base em MIRANDA, S. A. F. *et al*. **Tópicos em recursos hídricos**: uma abordagem para professores dos ensinos fundamental e médio na Amazônia. Manaus: Editora do Inpa, 2012.

Representação esquemática do ciclo da água. Assim como a evaporação acontece tanto nos oceanos como em terra e nos rios e lagos, a chuva também ocorre em todos esses ambientes. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

PAULO CESAR/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Juventude no campo: o futuro da agricultura familiar no Brasil

[...]

No dia 12 de agosto, celebra-se o Dia Internacional da Juventude, uma data que ressalta a importância dos jovens na construção de um futuro sustentável. No Brasil, o Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA) dedica atenção especial à juventude rural, reconhecendo seu papel crucial na sucessão familiar e na continuidade das práticas agrícolas.

A permanência dos jovens no campo é fundamental para a manutenção e o crescimento da agricultura familiar. A sucessão rural garante não apenas a continuidade das atividades agrícolas, mas também a inovação e a adaptação das práticas tradicionais às novas tecnologias e métodos sustentáveis. Para promover essa sucessão, o MDA desenvolve programas específicos que incentivam a autonomia e o empreendedorismo entre os jovens rurais.

[...] Com políticas públicas direcionadas e o protagonismo juvenil, o futuro da agricultura familiar se mostra promissor e sustentável.

Fonte: BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. **Juventude no campo**: o futuro da agricultura familiar no Brasil. Brasília, DF, 12 ago. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mda/pt-br/noticias/2024/08/juventude-no-campo-o-futuro-da-agricultura-familiar-no-brasil. Acesso em: 23 set. 2024.

1. Resposta pessoal. Estimule os estudantes a refletir sobre sua própria experiência, sua vivência e seu hábitos, avaliando quais são ou seriam os motivos para deixarem o local de origem, seja ele no campo ou na cidade. Se possível, entrevistem um jovem nascido no campo (que ainda permanece na região ou que migrou para a área urbana), procurando saber o que motivou sua decisão e que medidas ele considera que podem ser tomadas para manter a população jovem nas regiões rurais.

AMANDA CAROLINE DA SILVA/GETTY IMAGES

Casal de agricultores (PR, 2021).

A leitura do texto e a realização das atividades pode ser feita em duplas ou grupos de estudantes, estimulando a troca de experiências, opiniões, conhecimentos e o trabalho colaborativo. Estimule os estudantes a compartilhar dúvidas, incluindo de vocabulário, vivências e impressões, e garanta que se sintam à vontade para isso. Se achar conveniente, as atividades propostas podem ser o ponto de partida para trabalhos de pesquisa mais extensos, realizados de forma interdisciplinar, com os professores de Biologia, Geografia e Sociologia.

1. Jovens de 25 a 35 anos compunham 9,48% do contingente rural em 2017, de acordo com o censo agropecuário mais recente, publicado em 2018 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), um número bem abaixo dos 13,56% da pesquisa anterior, indicando que os jovens ao atingirem a vida adulta estavam deixando o campo, em busca de estudo e trabalho mais acessíveis. Sobre esse tema, responda as perguntas a seguir.
   a. Você conhece jovens que migraram do campo para a cidade? Em caso afirmativo, sabe por que tomaram essa decisão?
   b. Você mora no campo ou na cidade? Pretende permanecer na região de origem durante a vida adulta? Por quê?
   c. Que vantagens e limitações você considera que a vida no campo proporciona? Considere aspectos como saúde, bem-estar, educação, lazer e cultura, trabalho e perspectivas futuras.
2. A migração de jovens do meio rural para o meio urbano pode ter impactos diversos, entre eles, na produção de alimentos. Nesse sentido, é importante a adoção de políticas públicas que incentivem o jovem a permanecer no campo, garantindo seu acesso a serviços públicos e qualidade de vida, para diminuir o êxodo rural. Pesquise sobre as políticas públicas e programas implementados na região em que mora que incentivam a sucessão rural, como programas de infraestrutura, que promovem o acesso à alimentação, de incentivo à agricultura familiar e a pequenos e médios produtores rurais.
3. Sistemas agrícolas sustentáveis, como a agricultura familiar, os sistemas agroflorestais e o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta são meios de integrar a produção de alimentos à conservação de recursos naturais, como a água, e podem ajudar a mitigar os impactos do aquecimento global e das mudanças climáticas.

2. Resposta pessoal. Podem ser citados pelos estudantes: estímulo à agricultura familiar, democratização do acesso à terra, maior disponibilidade de crédito, facilitação do acesso à saúde, cultura e educação formal em todos os níveis, valorização e aumento dos salários associados a trabalhos e empregos rurais, incrementação da rede de comunicação nessas regiões, entre outros. Se achar conveniente, sugira aos estudantes que elaborem propostas de políticas públicas que poderiam ser adotadas na região em que moram.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

a. Pesquise quais os impactos do aquecimento global na agricultura e na produção de alimentos na região em que moram.

b. De que forma esses impactos afetam a qualidade de vida e o cotidiano das juventudes rural e urbana?

c. Pesquise como os sistemas agrícolas sustentáveis, como a agricultura familiar, podem contribuir para mitigar os impactos do aquecimento global e das mudanças climáticas. Considere aspectos como a gestão da água, a conservação dos recursos naturais, a variação de temperatura local, o uso de sistemas de irrigação e de cultivo em estufas, por exemplo.

d. Quais medidas você considera que poderiam ser tomadas para limitar o aquecimento global e seu impacto sobre a produção de alimentos?

3. Os impactos estão associados, principalmente, à variação de temperaturas e do regime de chuvas. Espera-se que os estudantes reflitam sobre aspectos como a insegurança alimentar, redução dos postos de trabalho, aumento da incidência de doenças, falta de água potável, entre outros. Espera-se que citem medidas como: redução do uso de combustíveis fósseis, controle de desmatamento e queimadas, adoção de uma matriz de energia limpa, proteção de biomas, entre outros.

Quantidade de calor latente

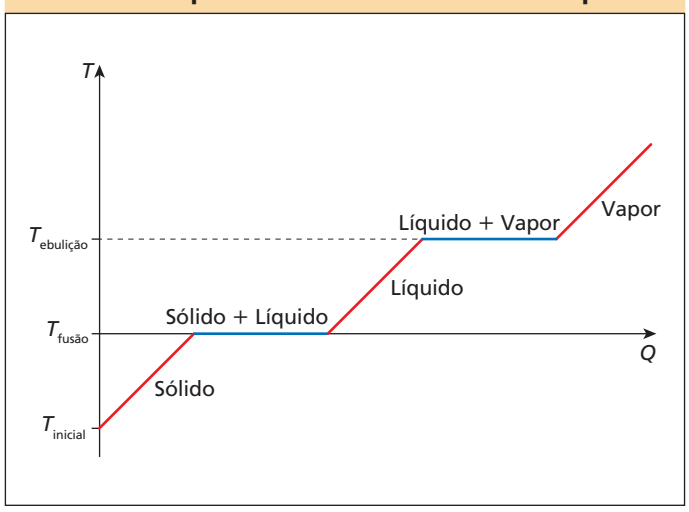
Ao trocar calor com outros corpos ou com o ambiente, um corpo apresenta mudança de temperatura e/ou de estado físico. Por exemplo, a água dos rios e mares recebe calor do Sol continuamente. Devido à incidência dos raios solares sobre a água, sua temperatura aumenta, ocorrendo ao mesmo tempo evaporação. Já o gelo, sujeito à pressão atmosférica de 1 atm, inicialmente em temperaturas abaixo de 0 °C, ao receber calor continuamente, tem sua temperatura elevada até atingir a temperatura (ou ponto) de fusão (0 °C), a partir da qual começa a se transformar em água líquida. Durante a transição de um estado físico para outro, gelo e água líquida ocorrem simultaneamente (mistura bifásica) e mantêm sua temperatura sem alteração (0 °C) até que a fusão se complete.

Constata-se experimentalmente que a temperatura da água e de qualquer substância pura não varia durante uma mudança de estado físico sob pressão constante. Você pode verificar essa propriedade com um termômetro apropriado, medindo sucessivamente a temperatura da água líquida enquanto ela recebe calor da chama de um fogão. Quando a água atinge a temperatura de ebulição, de 100 °C, ao nível do mar, entra em ebulição e sua temperatura não se altera até que todo o líquido passe para o estado gasoso.

Se, ao atingir a temperatura de mudança de estado físico, a temperatura não varia e não há outro efeito da absorção do calor pela água, para onde vai a energia absorvida por ela?

Em toda mudança de estado físico, o calor absorvido ou liberado interfere no modo de agregação dos átomos ou das moléculas, seja quebrando, seja reconstituindo as ligações interatômicas ou intermoleculares, seja separando, seja aproximando os átomos e as moléculas. Esse fenômeno pode ser representado por um gráfico $T \times Q$, que recebe o nome de **curva (ou diagrama) de aquecimento**, em que T é a temperatura e Q, a quantidade de calor absorvida.

Curva de aquecimento de uma substância pura



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da curva de aquecimento de uma substância pura.

Nesse gráfico, as linhas horizontais (patamares), referentes à temperatura constante, indicam que a temperatura do corpo que cede ou absorve calor não varia.

A quantidade de calor que provoca variação de temperatura é chamada de **quantidade calor sensível** e pode ser calculada pela **equação fundamental da calorimetria**.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Mas há uma grandeza que representa a quantidade de calor para que um corpo mude de estado físico, chamada de **calor específico latente (*L*)**. A quantidade de calor necessária para a mudança de estado físico de determinada substância depende da natureza dessa substância, da quantidade da substância (massa) e da mudança de estado físico ocorrida. Além disso, a temperatura de mudança de estado físico é característica de cada material e da pressão à qual o material está submetido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para a água, submetida à pressão de 1 atm, temos as mudanças de estado físico a seguir.

Definimos calor específico latente (L) como a quantidade de calor por unidade de massa (m) que determinada substância deve trocar – receber ou ceder – para mudar de estado físico. A relação entre a quantidade de calor recebido ou cedido Q e o calor específico latente L é matematicamente dada por:

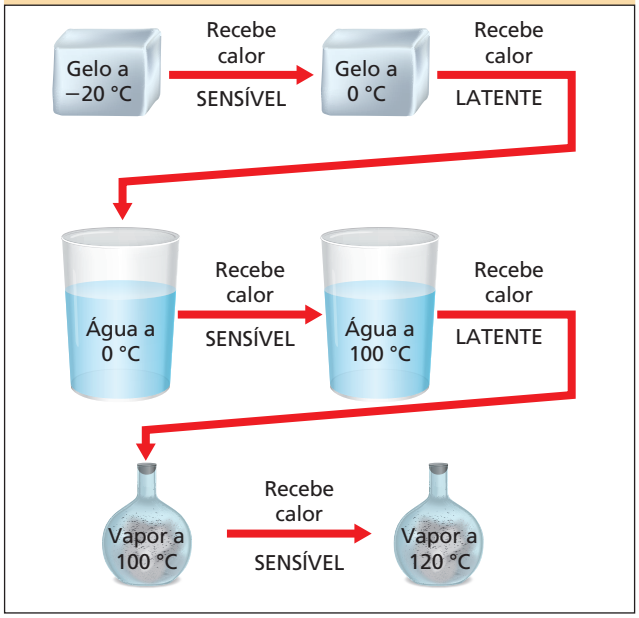
$$L = \frac{Q}{m} \text{ ou } Q = m \cdot L$$

Quando ocorre a passagem do estado sólido para o líquido, indicamos o calor específico latente como de fusão, $L_{fusão}$. Ao processo inverso, damos o nome de calor específico latente de solidificação, $L_{solidificação}$, que tem o mesmo módulo de $L_{fusão}$, mas sinal oposto: $L_{fusão} = -L_{solidificação}$

Se o material passa do estado líquido para o gasoso, então o calor específico latente é chamado de vaporização $L_{vaporização}$. Na passagem do estado gasoso para o líquido, consideramos o calor específico latente de condensação, $L_{condensação}$, que tem o mesmo módulo de $L_{vaporização}$, mas sinal oposto: $L_{vaporização} = -L_{condensação}$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida de calor específico latente é J/kg, mas a unidade de medida cal/g também é utilizada.

Mudanças de estado físico da água



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. 9. ed. Boston: Brooks/Cole Cengage Learning, 2014.

Representação esquemática das mudanças de estado físico da água à pressão de 1 atm. Parte do calor recebido pelo gelo provoca mudança de temperatura (calor sensível), enquanto outra parte resulta na mudança de estado físico (calor latente). (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A tabela a seguir apresenta o calor específico latente de fusão e o calor específico latente de vaporização de algumas substâncias.

Calor específico latente de fusão e de vaporização de algumas substâncias

Substância	Temperatura de fusão (°C)	Calor específico latente de fusão (cal/g)	Temperatura de ebulição (°C)	Calor específico latente de vaporização (cal/g)
Água	0	79,5	100	539,8
Álcool etílico	–114	24,8	78	204,0
Chumbo	327,3	5,9	1.750	207,8
Alumínio	660	94,8	2.450	2.722,8
Prata	960,8	21,1	2.193	556,5
Ouro	1.063	15,4	2.660	377,4
Cobre	1.083	32,0	1.187	1.208,6

Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 2.

Valores do calor específico latente de fusão e de vaporização de algumas substâncias e suas correspondentes temperaturas de fusão e de ebulição.

Exemplo 1

Entre as substâncias apresentadas na tabela, quais são as mais apropriadas para produzir um recipiente no qual derreta um pedaço de prata? Por quê?

De acordo com a tabela, a temperatura de fusão da prata é 960,8 °C. Para derretê-la, o material do recipiente deve ter uma temperatura de fusão maior que essa. Entre os materiais apresentados, os únicos que atendem a esse critério são o ouro (1.063 °C) e o cobre (1.083 °C).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo 2

Qual é a quantidade de calor total a ser fornecida a uma barra de 2 kg de gelo a –10 °C para que seja completamente transformada em vapor d'água a 100 °C? Considere o calor específico sensível do gelo $c_{gelo} = 0{,}5$ cal/(g · °C) e o calor específico sensível da água $c_{água} = 1{,}0$ cal/(g · °C).

Primeiro, vamos calcular a quantidade de calor para aquecer o gelo até 0 °C, considerando o calor específico sensível do gelo $c_{gelo} = 0{,}5$ cal/(g · °C).

$$Q_1 = m \cdot c_{gelo} \cdot \Delta T_1 \Rightarrow Q_1 = 2.000 \text{ g} \cdot 0{,}5 \text{ cal/(g} \cdot \text{°C)} \cdot [0 - (-10 \text{ °C})]$$

$$\therefore Q_1 = 10.000 \text{ cal ou } Q_1 = 10 \text{ kcal}$$

Sabendo que o calor específico latente de fusão do gelo é $L_{fusão} = 80$ cal/g, a quantidade de calor necessária para fundir o gelo pode ser calculada como:

$$Q_2 = m \cdot L_{fusão} \Rightarrow Q_2 = 2.000 \text{ g} \cdot 80 \text{ cal/g}$$

$$\therefore Q_2 = 160.000 \text{ cal ou } Q_2 = 160 \text{ kcal}$$

Agora, considerando o calor específico sensível da água $c_{água} = 1{,}0$ cal/(g · °C), vamos obter a quantidade de calor para aquecer o líquido até 100 °C.

$$Q_3 = m \cdot c_{água} \cdot \Delta T_2 \Rightarrow Q_3 = 2.000 \text{ g} \cdot 1{,}0 \text{ cal/(g} \cdot \text{°C)} \cdot (100 \text{ °C} - 0)$$

$$\therefore Q_3 = 200.000 \text{ cal ou } Q_3 = 200 \text{ kcal}$$

Finalmente, considerando o calor específico latente de vaporização da água $L_{vapor} = 540$ cal/g, vamos calcular a quantidade de calor para vaporizar totalmente o líquido.

$$Q_4 = m \cdot L_{vapor} \Rightarrow Q_4 = 2.000 \text{ g} \cdot 540 \text{ cal/g}$$

$$\therefore Q_4 = 1.080.000 \text{ cal ou } Q_4 = 1.080 \text{ kcal}$$

Portanto, adicionando as quantidades de calor calculadas, temos a quantidade de calor total que deve ser fornecida à barra de gelo a –10 °C para que seja completamente transformada em vapor d'água a 100 °C.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \Rightarrow Q = 10 \text{ kcal} + 160 \text{ kcal} + 200 \text{ kcal} + 1.080 \text{ kcal}$$

$$\therefore Q = 1.450 \text{ kcal}$$

Diagramas de mudanças de estado

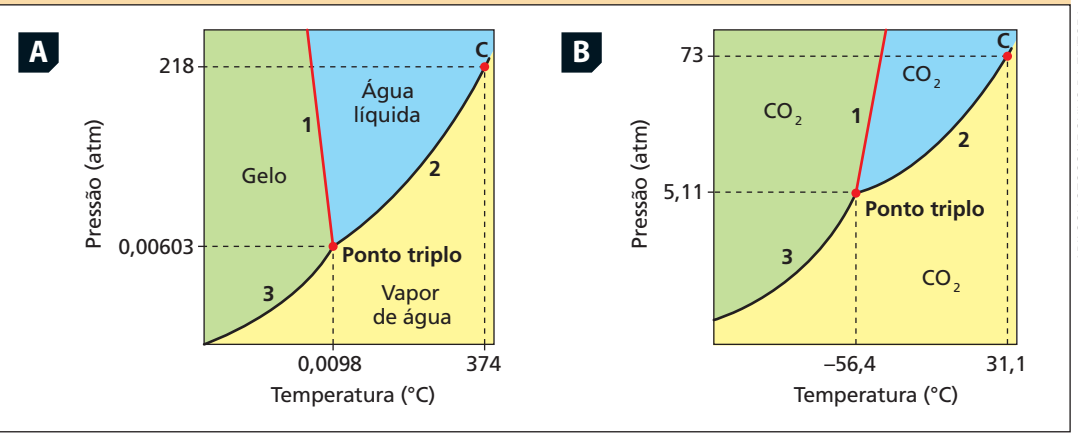
Até o momento, tratamos das trocas de calor considerando que as substâncias sempre são submetidas à mesma pressão; no entanto, a mudança de pressão altera a temperatura e o volume dos corpos.

A matéria pode se apresentar nos estados físicos sólido, líquido e gasoso. O que determina o estado físico da matéria, ou o estado de agregação de suas partículas, são a temperatura e a pressão às quais a matéria é submetida.

Destaque para os estudantes que, em ambos os diagramas, os eixos que representam a pressão e a temperatura estão fora de escala.

Agora, vamos analisar a mudança de estado físico de substâncias a partir da variação de temperatura e pressão utilizando os **diagramas de mudanças de estado**. Esses diagramas se constituem de um gráfico de $p \times T$ que fornece informação sobre o estado físico de dada substância com base nos valores de pressão (p) e temperatura (T).

Diagramas de mudanças de estado



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em ZUMDAHL, S. S. **Chemical Principles**. 3. ed. Boston: Houghton Mifflin College Div, 1998.

Diagramas de mudanças de estado da **(A)** água e do **(B)** dióxido de carbono (CO_2). (Imagens sem escala.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Analisando os diagramas de mudanças de estado, percebemos três regiões. Cada uma representa um estado físico característico da matéria. Um ponto localizado na região do estado sólido informa que, nesse ponto, que corresponde a determinada temperatura e pressão, a substância deve estar no estado sólido. O mesmo acontece com os pontos localizados nas regiões dos estados líquido e gasoso. Um ponto sobre as linhas que determinam as fronteiras entre as regiões representa uma substância que está ao mesmo tempo em duas fases. A linha 1, entre as regiões dos estados sólido e líquido, recebe o nome de curva de equilíbrio fusão/solidificação. A linha 2, entre as regiões dos estados líquido e gasoso, é chamada de curva de equilíbrio vaporização/condensação. A linha 3, que separa as regiões dos estados sólido e gasoso, é chamada de curva de equilíbrio sólido/vapor ou curva de sublimação. Um ponto sobre a curva de vaporização/condensação, por exemplo, indica uma temperatura e uma pressão nas quais a substância apresenta, ao mesmo tempo, uma porção na fase líquida e outra na fase gasosa.

O **ponto triplo** ou **tríplice**, ou ponto em que se cruzam as três curvas de equilíbrio, corresponde à temperatura e à pressão em que coexistem os estados físicos sólido, líquido e gasoso.

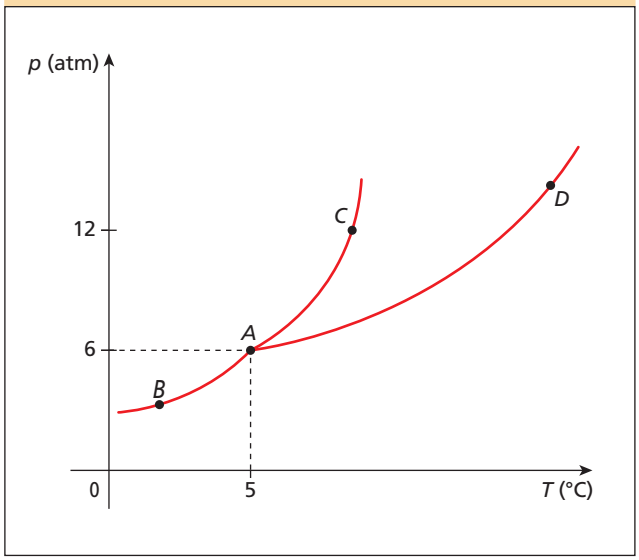
Submetendo-se água à pressão $p = 0{,}00603$ atm e à temperatura $T = 0{,}0098$ °C, essa substância vai se apresentar ao mesmo tempo em parte sólida, em parte líquida e em parte vapor, o que caracteriza o ponto triplo da água (mistura trifásica).

Esta figura mostra o diagrama de estado de uma substância genérica.

O que representam os pontos *A*, *B*, *C* e *D*?

O ponto *A* é o ponto triplo em que coexistem os estados sólido, líquido e gasoso da substância. O ponto *B* está sobre a curva de sublimação e, portanto, representa uma situação de equilíbrio entre os estados sólido e gasoso. O ponto *C*, que está sobre a curva de fusão, representa uma situação de equilíbrio entre os estados sólido e líquido. O ponto *D*, que está sobre a curva de vaporização, representa uma situação de equilíbrio entre os estados líquido e gasoso.

Diagrama de estado de uma substância genérica



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama de mudanças de estado de uma substância genérica.

Exemplo

De acordo com o diagrama de estado de uma substância genérica apresentado, à pressão de 2 atm e à temperatura de 3 °C, em que estado físico estará a substância?

A pressão de 2 atm e a temperatura de 3 °C definem um ponto situado na região à direita da curva de sublimação e abaixo da curva de vaporização no diagrama de estado apresentado; logo, a substância está no estado gasoso.

Fique por dentro

Estados da matéria

REID, S. *et al*. Sob pressão. Estados da matéria. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_pt_BR.html. Acesso em: 14 set. 2024.

Com esse recurso, você poderá realizar digitalmente simulações a respeito dos estados de agregação da matéria e de mudanças de estado físico, bem como analisar os respectivos diagramas.

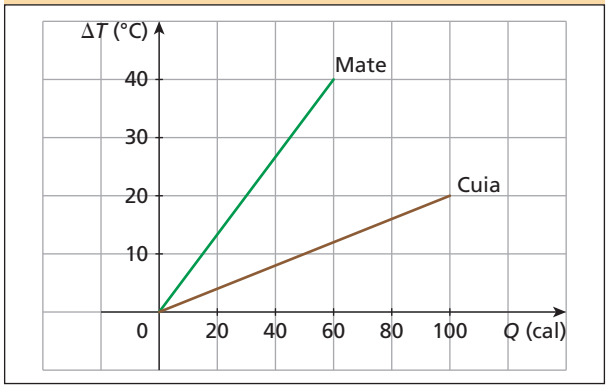
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Introduzido pelas populações indígenas do Paraguai, o chimarrão é uma tradição cultural da região Sul do Brasil. Trata-se de uma bebida quente à base de água e erva-mate servida em uma cuia (cabaça adaptada) e sorvida por um tubo metálico denominado bomba.

Os gráficos a seguir mostram o desempenho térmico de uma cuia e do mate que serão utilizados para servir um chimarrão. Dentro da cuia, serão introduzidos 100 mL de água quente, a 60 °C, enquanto todos os demais elementos e aparatos – cuia, mate e bomba metálica – encontram-se em equilíbrio térmico com o ambiente, a 20 °C.

Desempenho térmico da cuia e do mate



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da variação de temperatura ΔT em função da quantidade de calor Q.

Sabendo-se que a massa da bomba utilizada para sorver a bebida é igual a 50,0 g, que os calores específicos sensíveis da água e do metal que compõe a bomba valem, respectivamente, 1,00 cal/(g · °C) e 0,05 cal/(g · °C) e que a densidade da água é igual a 1,0 g/mL, desprezando-se quaisquer trocas de calor entre o sistema e o ambiente, determine:

a. a razão, *R*, entre as capacidades térmicas da cuia e do mate;

b. o valor aproximado da temperatura de equilíbrio térmico, *T*, que será estabelecida no sistema após os 100 mL de água quente serem introduzidos na cuia.

Analisar o enunciado

A cuia e o mate, que se encontram inicialmente em equilíbrio térmico com o ambiente, a 20 °C, apresentam desempenhos térmicos diferentes.

Selecionar as informações relevantes

Para determinar as capacidades térmicas da cuia e do mate, é preciso saber a quantidade de calor e a variação de temperatura sofrida por esses dois corpos. De acordo com o gráfico, para $\Delta T_{cuia} = 20\ °C$, $Q_{cuia} = 100$ cal; para $\Delta T_{mate} = 40\ °C$, $Q_{mate} = 60$ cal.

Aplicar o conceito estudado

A capacidade térmica C de um corpo de massa m e calor específico sensível c é definida por: $C = m \cdot c$

Aplicando a equação fundamental da Calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = C \cdot \Delta T \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T}$$

a. Com base no gráfico, vamos calcular inicialmente as capacidades térmicas da cuia e do mate, respectivamente.

$$C_{cuia} = \frac{100\ cal}{20\ °C} \therefore C_C = 5{,}00\ cal/°C$$

$$C_{mate} = \frac{60\ cal}{40\ °C} \therefore C_M = 1{,}50\ cal/°C$$

Logo, a razão R é dada por:

$$R = \frac{C_{cuia}}{C_{mate}} \Rightarrow R = \frac{5{,}00\ cal/°C}{1{,}50\ cal/°C} \therefore R = \frac{10}{3}$$

Note que R é um número adimensional (sem unidades de medida).

b. No equilíbrio térmico, o módulo do total das quantidades de calor fornecidas deve ser igual ao módulo do total das quantidades de calor recebidas (princípio da conservação da energia aplicado ao sistema termicamente isolado).

Assim, o somatório de todas as quantidades de calor trocadas deve ser igual a zero.

$$\sum Q_{total} = 0 \Rightarrow Q_{cuia} + Q_{mate} + Q_{água} + Q_{bomba} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (C \cdot \Delta T)_{cuia} + (C \cdot \Delta T)_{mate} + (m \cdot C \cdot \Delta T)_{água} + (m \cdot C \cdot \Delta T)_{bomba} = 0$$

A massa de água, em g, pode ser determinada multiplicando-se a densidade dessa substância, em g/mL, pelo respectivo volume, em mL.

$$m_{água} = 1{,}00\ \frac{g}{mL} \cdot 100{,}0\ mL \therefore m_{água} = 100{,}0\ g$$

Substituindo-se os valores numéricos, calculamos o valor da temperatura T de equilíbrio térmico.

$$5{,}00 \cdot (T - 20) + 1{,}50 \cdot (T - 20) + 100{,}0 \cdot 1{,}00 \cdot (T - 60) + 50{,}0 \cdot 0{,}05 \cdot (T - 20) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5{,}00\ T - 100{,}0 + 1{,}50\ T - 30{,}0 + 100{,}0\ T - 6.000{,}0 + 2{,}5\ T - 50{,}0 = 0 \Rightarrow 109{,}0\ T = 6.180{,}0$$

$$\therefore T \simeq 56{,}7\ °C$$

Verificar a solução

Como a cuia, o mate e a bomba metálica encontram-se inicialmente em equilíbrio térmico com o ambiente a 20 °C, ou seja, a uma temperatura menor que a da água quente introduzida (60 °C), é esperado que a nova temperatura de equilíbrio térmico T, estabelecida no sistema após os 100 mL de água quente serem introduzidos na cuia, seja menor que a temperatura da água quente e maior que a temperatura dos demais elementos e aparatos – cuia, mate e bomba metálica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. O pingado é uma forma tradicional de servir café com leite, consistindo em adicionar um pouco de leite a uma xícara de café. Considere que um pingado é preparado com 31 mL de café a uma temperatura de 80 °C, ao qual são adicionados 10 mL de leite integral a uma temperatura de 8 °C. Qual será a temperatura final da bebida? Considere o calor específico sensível do café 1,0 cal/(g · °C), o calor específico sensível do leite 0,9 cal/(g · °C) e a densidade do leite igual à densidade do café, 1,0 g/mL. 4. 63,8 °C

5. A água contida em moringas de barro é mantida fresca por mais tempo do que quando contida em recipientes plásticos ou metálicos. Como você explica o fato de a temperatura da água contida em uma moringa de barro se manter mais baixa por mais tempo do que quando contida em recipientes plásticos ou metálicos?

DIRCEU PORTUGAL/FOTOARENA

Moringa de barro.

5. Devido à porosidade do barro que deixa parte da água extravasar e evaporar.

6. (Enem) O quadro apresenta alguns exemplos de combustíveis empregados em residências, indústrias e meios de transporte.

Combustíveis	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de ebulição (°C)
Butano	–135	–0,5
Etanol	–112	78
Metano	–183	–162
Metanol	–98	65
Octano	–57	126

São combustíveis líquidos à temperatura ambiente de 25 °C: 6. Alternativa **b**.

a. butano, etanol e metano.
b. etanol, metanol e octano.
c. metano, metanol e octano.
d. metanol e metano.
e. octano e butano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

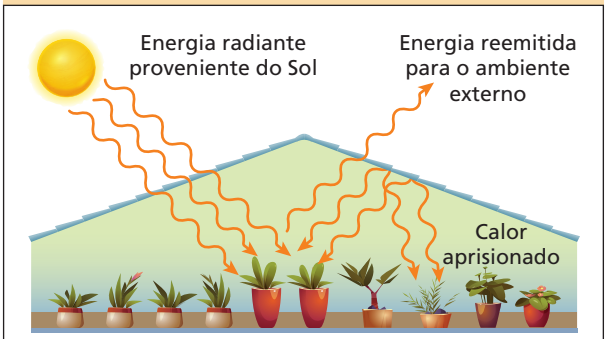
EM FOCO Efeito estufa e o aquecimento global

ODS 13

Entrar em um carro depois de ele ficar estacionado ao sol por um longo intervalo de tempo pode ser terrível. Nessa condição, dentro do veículo são estabelecidas temperaturas altíssimas, que trazem desconforto às pessoas, obrigando à imediata abertura das janelas, além do acionamento do ventilador ou do ar-condicionado, que, a princípio, parecem ineficazes.

Qual é a explicação científica para esse fenômeno? Ocorre o seguinte: a energia radiante solar é transmitida para o carro por irradiação e as componentes na faixa do visível são transmitidas através dos vidros para o interior do veículo. Essa energia é absorvida pelas estruturas internas, como estofamento, assoalho e painel, e posteriormente reemitida na forma de radiação infravermelha, que não volta ao ambiente externo. Isso ocorre porque o vidro é pouco transparente aos comprimentos de onda da radiação infravermelha. Com isso, o ar aprisionado dentro do carro fica superaquecido, provocando uma espécie de efeito estufa, que também pode ser notado no interior de cômodos especiais com teto de plástico ou de vidro apropriados ao cultivo de plantas que exigem temperaturas mais altas.

Estufa para o cultivo de plantas



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em REIS, Neville V. B. dos. Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. **Circular Técnica 38 – Embrapa Hortaliças**, Brasília, DF, dez. 2005. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355126/9124396/Construu%C3%A7%C3%A3o+de+estufas.pdf/8bec74eb-2206-44ff-9aad-538141520c4a. Acesso em: 14 set. 2024.

Representação esquemática de uma estufa para o cultivo de plantas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Na atmosfera terrestre, também ocorre naturalmente o efeito estufa. O efeito estufa está diretamente

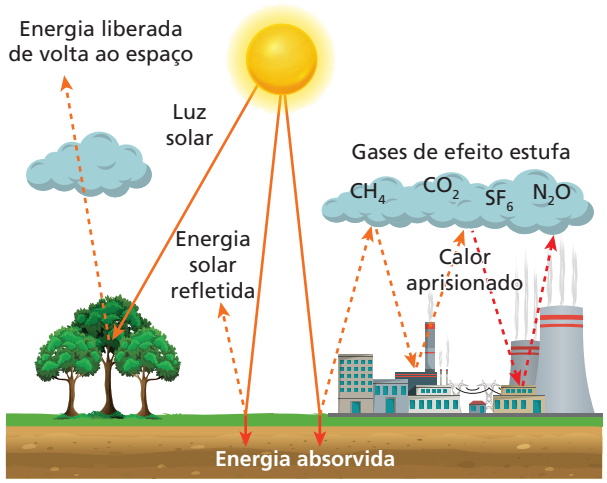
Continua

relacionado ao equilíbrio térmico da Terra. Ele atua como um regulador da temperatura, impedindo que o planeta esfrie demais durante a noite e se aqueça excessivamente durante o dia. O problema é que, atualmente, o efeito estufa na Terra tem se intensificado.

Como no carro estacionado ao sol, a energia radiante solar atravessa a atmosfera, sendo absorvida pela superfície terrestre. Esta, por sua vez, reemite a radiação na faixa do infravermelho.

Gases como o CO_2 (gás carbônico), o CH_4 (metano) e o N_2O (óxido nitroso), encontrados na atmosfera terrestre, criam em torno da Terra uma espécie de redoma que bloqueia a dissipação da energia na faixa do infravermelho para o espaço, intensificando o efeito estufa, o que tem elevado significativamente as temperaturas na superfície do planeta, intensificando também o chamado aquecimento global.

A figura a seguir resume o efeito estufa.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do efeito estufa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Estima-se hoje que a temperatura média na superfície da Terra esteja cerca de 1,4 °C mais alta que em tempos pré-industriais (épocas anteriores ao século XIX), e isso tem levado o clima a eventos extremos, como tempestades, ciclones, tornados e furacões cada vez mais frequentes e com consequências devastadoras. Os verões têm sido tórridos, e as geleiras, bem como os cumes nevados de cordilheiras e altas montanhas, vêm apresentando notório derretimento.

CID GUEDES/GETTY IMAGES

Em 2023 e 2024, estados do Sul do Brasil, especialmente o Rio Grande do Sul, tiveram períodos extensos de chuvas intensas que provocaram grandes enchentes em diversas cidades (Novo Hamburgo, RS, 2024).

O gás carbônico é encontrado atualmente em abundância na atmosfera cerca de 35% acima de padrões anteriores, sendo produzido principalmente por incêndios florestais e queimadas, pela queima de carvão mineral e combustíveis fósseis. O metano provém dos oceanos, da decomposição de matéria orgânica e de ações humanas ligadas a aterros sanitários e lixões. Além disso, é eliminado pelo processo digestivo de ruminantes, criados em escala cada vez maior. O óxido nitroso é lançado no ar por bactérias existentes no solo e nos oceanos e pela degradação de fertilizantes nitrogenados empregados na agricultura. O N_2O é um grande vilão do aquecimento global, já que sua contribuição para o aumento das temperaturas ambientes é significativamente maior que a do CO_2.

É necessário que a comunidade internacional, sobretudo os países que lideram as emissões de gases estufa, estabeleçam políticas de menor produção de CO_2, CH_4 e N_2O ou viveremos na Terra uma sucessão de tragédias ligadas às ocorrências meteorológicas relacionadas ao aquecimento global e à mudança global do clima.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Explique, resumidamente, o que é o efeito estufa, com base em conceitos científicos.
2. O aquecimento global é uma consequência da intensificação do efeito estufa. Cite três eventos climáticos extremos que ocorreram ou ocorrem no Brasil ou no mundo recentemente. Você relaciona esses eventos com o aquecimento global? 2. Derretimento de geleiras e dos gelos polares, chuvas excessivas no Sul do Brasil, ondas de calor extremas nos Estados Unidos e Europa etc.
3. Os meios de transporte, em especial, carros e caminhões equipados com motores térmicos, à combustão, navios e aviões, lançam na atmosfera quantidades enormes de CO_2, que é um dos gases responsáveis pela intensificação do efeito estufa. Pesquise a respeito de tecnologias alternativas para os veículos citados que não utilizem combustíveis fósseis e contribuem para a redução na emissão de gases estufa. 3. Espera-se que os estudantes pesquisem tecnologias de veículos elétricos, híbridos e que utilizam biocombustíveis, por exemplo.
4. Como você, individualmente, pode colaborar para o não agravamento do efeito estufa e do aquecimento global? 4. Espera-se que os estudantes cogitem o uso de meios de transporte alternativos, o consumo consciente de energia elétrica e de água, por exemplo.

1. Energia radiante solar atravessa a atmosfera, sendo absorvida pela superfície terrestre, que reemite a radiação na faixa do infravermelho. Gases como o gás carbônico, o metano e o óxido nitroso, encontrados na atmosfera terrestre, fazem com que a dissipação da energia na faixa do infravermelho seja bloqueada, o que eleva a temperatura na superfície da Terra.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

1. Se possível, sugira aos estudantes que façam essa atividade em grupo, promovendo a discussão e a argumentação. Após a discussão, peça a eles que elaborem pequenos textos que justifiquem as conclusões finais.

1. Em um churrasco de comemoração familiar, Ramiro improvisou uma churrasqueira com tijolos de barro e espetos de bambu, conforme a figura a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação da churrasqueira improvisada por Ramiro. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Ramiro acendeu o fogo e, depois de certo intervalo de tempo, com o carvão em brasas, notou que os alimentos estavam assados, mas que os tijolos estavam muito quentes, exigindo cuidados para não provocar queimaduras em ninguém.

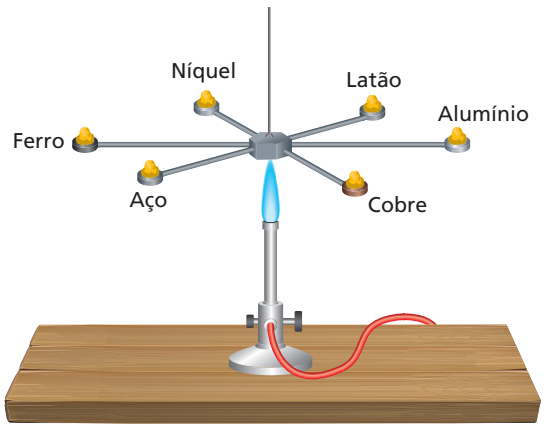
1. a. É possível identificar as três.

a. Considerando-se as três formas de transmissão de calor – irradiação, convecção e condução –, qual (ou quais) você identifica nesse contexto?

b. Se os espetos fossem metálicos, Ramiro correria maior risco de queimar as mãos? Explique.

1. b. Sim, pois o metal é melhor condutor térmico.

2. O esquema a seguir ilustra um experimento em que um bico de Bunsen é utilizado para aquecer uniformemente uma peça central metálica à qual estão ligadas radialmente seis hastes retas também metálicas, de igual comprimento e área da secção transversal, mas constituídas de materiais diferentes. Nas extremidades dessas hastes, há pequenas pelotas de manteiga de massas iguais que vão derreter sucessivamente, uma a uma, porém em instantes diferentes.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do experimento. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Na tabela a seguir, estão relacionados, nas condições do experimento, os coeficientes de condutividade térmica K dos seis materiais utilizados na confecção das hastes.

Condutividade térmica (K) dos materiais utilizados

Material	K [J/(s · m · °C)]
Ferro	72
Níquel	88
Latão	117
Alumínio	226
Cobre	397
Aço	64

Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. (ed.). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. Boca Raton: CRC, 2016.

Valores da condutividade térmica (K) dos materiais utilizados.

Desprezando-se as trocas de calor entre as hastes e o ambiente e assumindo que essas hastes estavam à mesma temperatura inicial, indique a alternativa que ordena corretamente os materiais das hastes de acordo com a prontidão no derretimento das pelotas de manteiga em suas extremidades.

2. Alternativa **b**.

a. Ferro, níquel, latão, alumínio, cobre e aço.

b. Cobre, alumínio, latão, níquel, ferro e aço.

c. Aço, ferro, níquel, latão, alumínio e cobre.

d. Alumínio, latão, cobre, ferro, níquel e aço.

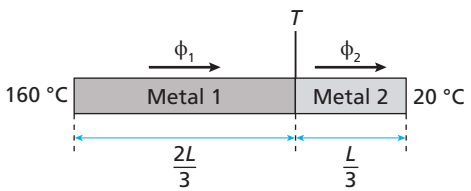
e. Latão, alumínio, cobre, aço, ferro e níquel.

3. Navios graneleiros são projetados para transportar mercadorias a granel, como grãos de soja e milho, e são fundamentais para o escoamento da produção agrícola do Brasil para diferentes países, movimentando a economia brasileira.

JOUNI NISKAKOSKI/SHUTTERSTOCK

Navio graneleiro no porto de Rio de la Plata, Uruguai (2023).

Navios como esse são propulsionados por motores dotados de um eixo bimetálico com diâmetro uniforme e comprimento total L.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um eixo bimetálico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere que a extremidade dos primeiros dois terços do comprimento *L*, feitos de um metal 1 com coeficiente de condutividade térmica 80 W/(m · K), fica em contato com um receptáculo a 160 °C, enquanto a extremidade do terço final, junto à hélice do navio, feito de um metal 2 com coeficiente de condutividade térmica 240 W/(m · K), fica em contato com um meio a 20 °C. Desprezando-se as trocas de calor entre o eixo e o ambiente que o envolve, é correto afirmar que a temperatura *T* na junção do metal 1 com o metal 2 é igual a: 3. Alternativa **d**.

a. 90 °C
b. 76 °C
c. 64 °C
d. 40 °C
e. 32 °C

4. A base brasileira na Antártica – Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) –, construída na Ilha Rei George, teve novas instalações inauguradas em janeiro de 2020. As instalações (contêineres de aço suspensos resistentes às intempéries locais) comportam até 64 pessoas direta ou indiretamente ligadas a pesquisas sobre o bioma antártico, fontes de energia renováveis, além de estudos do clima, fundamentais para as previsões do tempo no Cone Sul (Argentina, Chile e Uruguai) e em grande parte do território brasileiro.

MARINHA DO BRASIL

Estação Antártica Comandante Ferraz, na Ilha Rei George (2020).

Considere um contêiner elevado do solo, em forma de paralelepípedo retângulo, com dimensões internas 4,0 m × 3,0 m × 2,0 m, fabricado em aço (coeficiente de condutibilidade térmica $K = 5{,}0 \cdot 10^{-2}$ W/(m · °C) com paredes de espessura $e = 26$ cm. Suponha que um aquecedor de potência útil *Pot* mantenha a temperatura dentro do contêiner constante, com valor $T_i = 20$ °C, e que a temperatura externa seja $T_e = -4$ °C.

Sabendo-se que o rendimento do aquecedor é de 80%, determine:

a. a valor de *Pot*, em watt (W); 4. a. *Pot* = 240 W
b. a energia *E*, em kWh, necessária para o funcionamento do aquecedor durante 24 h. 4. b. *E* = 7,2 kWh

5. Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura do quadro nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico sensível da água é 1,0 cal/(g · °C), e sua temperatura inicial era de 20 °C.

Informação nutricional por porção de 10 g	
Valor energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras totais	3,5 g

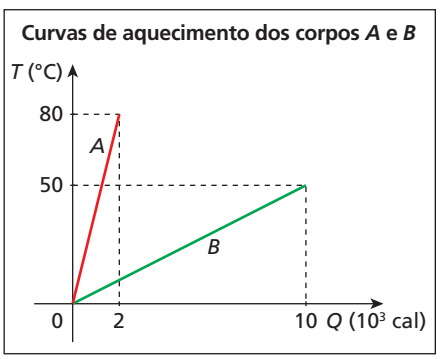
Informação nutricional de uma porção de 10 g de castanha-de-caju, equivalente a cerca de duas castanhas.

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento? 5. Alternativa **c**.

a. 25
b. 27
c. 45
d. 50
e. 70

6. As temperaturas (*T*) de dois corpos metálicos, *A* e *B*, variam uniformemente com as quantidades de calor recebidas (*Q*) conforme o gráfico a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação gráfica da temperatura em função da quantidade de calor para os corpos metálicos *A* e *B*.

Esses corpos são introduzidos em um mesmo forno até adquirirem a temperatura de 50 °C, sendo, em seguida, misturados com um bloco de gelo de massa *M*, inicialmente a 0 °C, em um recipiente termicamente isolado. Considere o calor específico latente de fusão do gelo 80 cal/g, o calor específico sensível da água 1,0 cal/(g · °C) e a pressão atmosférica local 1,0 atm. Se o equilíbrio térmico ocorre a 10 °C, pode-se afirmar que o valor de *M* é: 6. Alternativa **b**.

a. 50 g
b. 100 g
c. 150 g
d. 200 g
e. 250 g

7. Em uma pesquisa relacionada à produção de vacinas, um cientista coloca um litro de água a 25 °C em um recipiente com pedras de gelo apresentando massa de 50 g cada

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

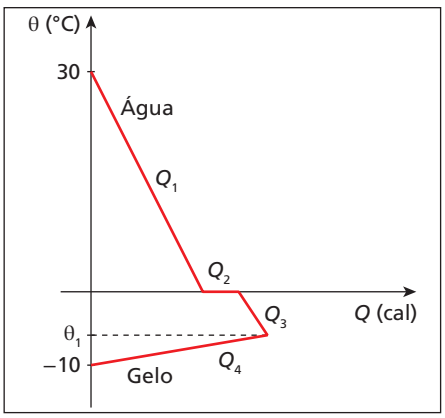
uma, a 0 °C. O recipiente está isolado do ambiente e sua capacidade térmica é desprezível. O cientista deseja que, depois de certo intervalo de tempo, a temperatura de equilíbrio térmico seja inferior a 5,0 °C.

O experimento se passa ao nível do mar onde a pressão atmosférica é igual a 1,0 atm. Considere o calor específico sensível da água igual a 1,0 cal/(g · °C); o calor específico latente de fusão do gelo igual a 80 cal/g; e a densidade absoluta da água igual a 1,0 kg/L.

Para isso, o número mínimo de pedras de gelo que o cientista deverá utilizar será igual a: 7. Alternativa **c**.

a. 3
b. 4
c. 5
d. 6
e. 7

8. (OBC) Ao misturar, num certo recipiente de capacidade térmica desprezível, 4.500 g de gelo a −10 °C com 100 g de água líquida a 30 °C, a temperatura θ em função da quantidade de calor *Q* trocada, varia conforme o gráfico:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Dados de calores específicos:

- Calor esp. sensível do gelo: $c_g = 0{,}50$ cal/(g · °C)
- Calor esp. sensível da água líquida: $c_a = 1{,}0$ cal/(g · °C)
- Calor esp. latente de fusão do gelo: $L_f = 80$ cal/g
- Calor específico latente de solidificação da água: $L_S = -80$ cal/g

A temperatura final (θ_f) de equilíbrio térmico é igual a: 8. Alternativa **b**.

a. −2,3 °C
b. −5,0 °C
c. −6,7 °C
d. −8,6 °C
e. −9,4 °C

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades EM13CNT302 e EM13CNT303, além do trabalho interdisciplinar com Língua Portuguesa, desenvolvendo as habilidades EM13LP30, EM13LP32 e EM13LP34.
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

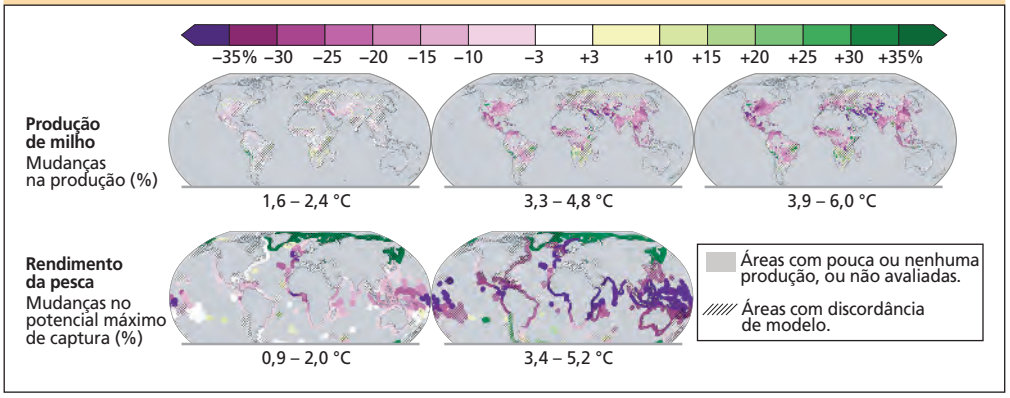
Como gráficos e infográficos contam histórias?

Em inúmeros veículos de comunicação, dados são frequentemente apresentados em gráficos, infográficos e tabelas. Esses recursos visuais apresentam informações quantitativas para facilitar a compreensão sobre um evento ou uma situação específica, em geral, apresentados como complemento de uma notícia, e para a divulgação de pesquisas científicas. Para entender a mensagem que esses recursos visuais se propõem a informar, é fundamental ler e interpretá-los no contexto adequado.

Em uma época com diversos relatórios e estudos sendo publicados sobre mudanças climáticas, por exemplo, é importante ficarmos atentos em como são divulgados os dados, como foram coletados, sua fonte, o contexto de produção e a linguagem utilizada. Afinal, dados e informações divulgadas em diferentes mídias podem ter impacto direto no dia a dia das pessoas; eles podem influenciar nossa percepção sobre um evento e a tomada de decisões. Essa análise nos ajuda a identificar se as informações apresentadas são confiáveis e se realmente descrevem a situação apresentada.

O infográfico a seguir, por exemplo, apresenta dados dos impactos da mudança do clima na produção de alimentos. Ele foi elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), fornecendo avaliações científicas sobre a mudança do clima, seus impactos em diferentes setores e os possíveis riscos futuros, propondo ações para a mitigação e a adaptação às mudanças. Mas o que esses dados representam? O que podemos concluir com base nos dados apresentados?

Impactos na produção de alimentos



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em LEE, H.; ROMERO, J. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. *In*: **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genebra, Suíça. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

Impactos regionais projetados da mudança do clima na produção de milho e no rendimento da pesca.

Quando você lê, assiste ou ouve uma informação veiculada em diferentes mídias, costuma prestar atenção nos dados contidos nela? Como você interpreta esses dados? Sabe o que é um gráfico, um infográfico e uma tabela? Consegue identificar as principais informações que os dados apresentados se propõem a comunicar?

Em grupo com dois colegas, reflitam sobre essa temática. Conversem sobre a importância de analisar criticamente, ler e compreender os dados, confirmar a veracidade das informações em diferentes publicações e em fontes oficiais. As questões a seguir podem ajudar nessa reflexão.

1. Ao se deparar com uma tabela, gráfico ou infográfico publicado em uma notícia ou nas redes sociais, vocês procuram saber quem é o autor da publicação ou qual é a fonte dos dados?
2. Vocês identificam o objetivo da publicação? Foi criada para informar, reportar informações científicas, divulgar um produto?
3. Todas as informações importantes sobre o tema abordado são apresentadas ou você identifica que dados foram omitidos?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Em sua opinião quais razões podem levar à escolha de um dado em detrimento de outros?
5. Dados são sempre confiáveis?
6. A forma como os dados são apresentados pode influenciar na interpretação de um gráfico ou infográfico?
7. Qual é a importância de confirmar a veracidade das informações em diferentes fontes?

Ampliação de repertório

Depois dessa reflexão inicial, é hora de aprofundar as discussões com seus colegas de grupo por meio da análise de gráficos, infográficos e tabelas publicados em diferentes mídias. Pesquisem gráficos, tabelas e infográficos produzidos para divulgar dados em diferentes contextos. O que eles têm em comum? Vocês podem pesquisar publicações que apresentem dados sobre recursos hídricos no contexto de mudanças climáticas, por exemplo, em artigos científicos, livros, notícias de jornais ou revistas, em *sites* governamentais, de universidades e institutos de pesquisa, e em publicações nas redes sociais.

Anotem suas principais impressões e interpretações sobre os dados, confirmem se as fontes são confiáveis e se os dados estão de acordo com o contexto apresentado, se correspondem ao que o título do texto afirma. Conversem sobre como os números podem contar histórias e sobre a importância da análise crítica ao interpretá-los e ao divulgá-los para a população.

Pesquisem sobre acontecimentos importantes na comunidade em que vivem e como vocês poderiam apresentar os dados relacionados utilizando gráficos, infográficos ou tabelas. Notem que vocês podem utilizar esses recursos não apenas para apresentar dados numéricos, mas também para comparar informações. Um infográfico, por exemplo, também pode ser utilizado para representar visualmente um fenômeno ou procedimento, como o caminho que a água percorre da estação de tratamento até chegar nas casas, fábricas e plantações.

Para facilitar a etapa seguinte, debatam sobre como os infográficos podem ser utilizados para contar uma história. Identifiquem os padrões comuns em sua estrutura, os elementos que compõem um infográfico. Essas informações podem ser organizadas com notas autoadesivas, em um mural na sala de aula, por exemplo.

Produção de conteúdo

Agora vocês já refletiram sobre a importância da leitura crítica de gráficos, infográficos e tabelas, da análise dos dados e das informações apresentadas em diferentes mídias, e sobre como elas podem contribuir para a divulgação de temas científicos e para a informação da população. Considerem a seguinte proposta para aplicar esse conhecimento e compartilhar sua experiência com a comunidade.

Elaborem um infográfico que apresente informações sobre um tema importante para a comunidade. Para preparar a narrativa, pensem em palavras-chave sobre o assunto a ser apresentado. Definam como vão transmitir a informação, pesquisem os dados relacionados em fontes confiáveis (busquem dados oficiais ou de pesquisas de instituições reconhecidas, procurem sempre citar as fontes) e escolham as imagens que melhor representam o conteúdo que pretendem divulgar. Sempre com uma linguagem clara e objetiva.

Vocês podem produzir um infográfico sobre a crise hídrica e seu impacto na comunidade, por exemplo, usando dados de relatórios das Nações Unidas e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ou um infográfico sobre o impacto das mudanças climáticas na região em que moram, comparando com o cenário mundial e com o cenário nacional. Vocês podem utilizar plataformas digitais para a elaboração do infográfico, caso não tenham acesso a um computador e à internet, podem elaborar o infográfico por meio de colagens e desenhos em um cartaz.

Autoavaliação

Este espaço é destinado ao reconhecimento de seus pontos fortes e das oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

- Aplicar técnicas de pesquisa para avaliar, nas mídias utilizadas, a confiabilidade dos diversos tipos de informação e dados apresentados.
- Buscar e selecionar dados em tabelas, gráficos e infográficos, em fontes confiáveis e adequadas ao projeto.
- Aderir ao tema, com a seleção de dados e informações adequadas, de forma responsável.
- Elaborar um infográfico, exercitando a criatividade, aplicando técnicas de pesquisa e análise de dados, expressando domínio conceitual.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 4

TRANSFORMAÇÕES E MOVIMENTOS

UGUR GALLENKUS - COLEÇÃO PARTICULAR

GALLENKUŞ, U. **Melting Bear**. Técnica mista, papel em tela. Coleção particular. Com essa obra, o artista turco Uğur Gallenkuş propõe a reflexão sobre como os gases do efeito estufa emitidos em diferentes locais do planeta têm contribuído para o aquecimento global.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

OBJETO DIGITAL
***Podcast*: Juventudes e manifestações pelo clima**

ODS 13

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em 2023, a temperatura média global da superfície da Terra ficou cerca de 1,4 °C acima da linha de base pré-industrial; um alerta para os países adotarem medidas mitigatórias, como reduções dramáticas e rápidas na emissão de gases do efeito estufa, para limitar mudanças extremas e irreversíveis, como o aumento contínuo do nível do mar, o aumento e a intensidade de secas prolongadas, ondas de calor, enchentes, entre outras. Atualmente, a comunidade científica concorda com o fato de que, para minimizar essas consequências, o aumento da temperatura global deve ser limitado a 1,5 °C ou, no máximo, a 2 °C. Nesse sentido, em 2015, os países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) assinaram o Acordo de Paris e implementaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Segundo o relatório do IPCC, para alcançar a meta proposta nesses acordos, além do esforço coletivo, é preciso agir rápido; caso contrário, a Terra enfrentará problemas mais sérios nas próximas décadas.

Nesta unidade, vamos estudar os conceitos de temperatura e calor, as leis da Termodinâmica, as transformações gasosas e sua aplicação no desenvolvimento de máquinas térmicas.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Um dos efeitos da mudança de temperatura em um corpo é a variação de suas dimensões, dependendo do material de que é produzido. Que conceito físico explica esse efeito e por que isso ocorre?
2. O que são temperatura e calor? Como essas grandezas físicas se relacionam?
3. O que é o princípio de conservação de energia e como ele se relaciona ao conceito de calor?
4. O motor a vapor das antigas locomotivas e o motor de combustão interna dos automóveis são máquinas térmicas. Em que é baseado o funcionamento dessas máquinas térmicas? Essas máquinas podem contribuir para o aquecimento global?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se possível, consulte as aberturas das unidades 4 dos volumes de Biologia e de Química, faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza, discutindo a relação entre as alterações na temperatura média global da superfície da Terra e as mudanças nos padrões climáticos, além do impacto da utilização de combustíveis fósseis.

Capítulo 13

Dilatação térmica de sólidos e líquidos

PAUL VASARHELYI/SHUTTERSTOCK

Caminhão-tanque realizando a descarga de combustível para um tanque de armazenamento subterrâneo em um posto.

Ao longo da cadeia de extração, produção e distribuição dos combustíveis derivados de petróleo, é fundamental monitorar fatores como a temperatura das substâncias, já que a variação da temperatura pode levar à variação do volume dos combustíveis. Um dos motivos de os postos de combustível usarem tanques de armazenamento subterrâneos é diminuir a variação de temperatura dos combustíveis e, consequentemente, minimizar a variação de seu volume.

Neste capítulo, vamos estudar a dilatação térmica, as características da dilatação volumétrica de sólidos e líquidos, além do comportamento anômalo da água.

Dilatação e contração térmicas

OBJETO DIGITAL Vídeo: Dilatação térmica

Um dos efeitos da mudança de temperatura em um corpo é a variação de suas dimensões. Esse fenômeno é facilmente verificado, por exemplo, na coluna de um termômetro com álcool etílico colorido. Ao ser aquecido, o álcool se expande em razão do aumento da distância entre suas partículas. Conforme a agitação das partículas aumenta, a região ocupada por elas também aumenta. Como a energia térmica é proporcional a essa agitação, ela também interfere no espaço abrangido pelas partículas.

KABARDINS PHOTO/SHUTTERSTOCK

Termômetro com coluna de álcool colorido.

O aumento das dimensões de um sólido ou de um líquido por causa da elevação de sua temperatura é chamado **dilatação térmica**. Quando há redução da temperatura, ocorre o processo inverso, denominado **contração térmica**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A dilatação e a contração térmicas ocorrem de maneira expressiva em vários materiais e podem ser notadas em diversas situações. Em alguns motores, como os de veículos e geladeiras, as peças podem dilatar em proporções diferentes para garantir seu correto funcionamento, por exemplo. As peças de motores de carros, trabalham geralmente a uma temperatura ideal de aproximadamente 90 °C, são projetadas com folgas milimétricas para que, ao dilatarem com o aquecimento, ajustem-se perfeitamente durante o trabalho.

A seguir vamos estudar os parâmetros que nos ajudam a melhor compreender e analisar casos de dilatação e contração térmicas.

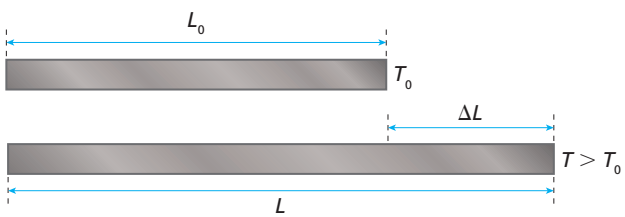
Coeficiente de dilatação térmica

Como materiais diferentes apresentam distintos arranjos de partículas, ao aquecer um corpo, suas partículas podem se afastar mais umas das outras ou menos, dependendo da estrutura interna do material. Chamamos de **coeficiente de dilatação térmica** a grandeza física que expressa o quanto cada material se dilata com o aumento da temperatura, à pressão contante. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida do coeficiente de dilatação térmica é o K^{-1}, mas, como a variação de temperatura nas escalas Kelvin e Celsius é expressa pelo mesmo número, podemos também utilizar a unidade de medida $°C^{-1}$.

Coeficiente de dilatação linear

Quando é preciso obter a dilatação em uma única dimensão, deve-se considerar o **coeficiente de dilatação linear** (α). É o caso da dilatação de fios, cabos e barras finas.

Podemos obter uma expressão para a dilatação linear, considerando uma lâmina metálica de coeficiente de dilatação linear α, comprimento inicial L_0 e temperatura inicial T_0. Se elevarmos sua temperatura para T, o comprimento aumentará para L, conforme representa a figura a seguir, bastante exagerada, já que o fenômeno da dilatação térmica em sólidos é muito sutil.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da dilatação linear de uma lâmina. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sendo a variação de temperatura $\Delta T = T - T_0$ e a dilatação linear $\Delta L = L - L_0$, temos:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

A tabela a seguir indica o coeficiente de dilatação linear de alguns materiais.

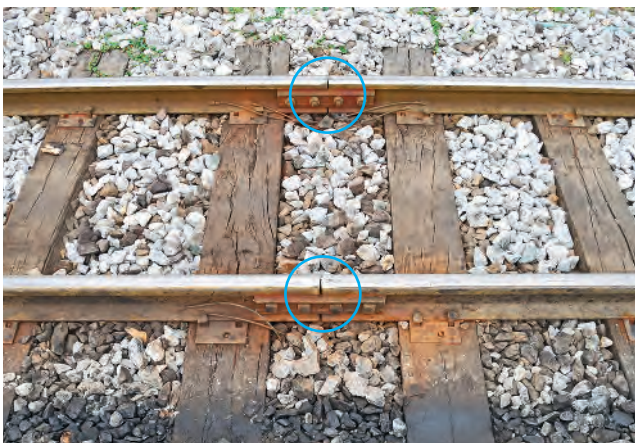
Coeficientes de dilatação linear α de alguns materiais

Material	α (10^{-6} K^{-1})
Ferro	11,8
Níquel	13,4
Cobre	16,5
Alumínio	23,1
Chumbo	28,9
Zinco	30,2

Fonte: elaborado com base em LIDE, D. R. **Handbook of Chemistry and Physics**. 96. ed. Boca Raton: CRC, 2016.

Valores dos coeficientes de dilatação linear (α) de alguns materiais.

Na construção de ferrovias, costuma-se deixar entre trilhos consecutivos um espaço para o caso de ocorrer dilatações térmicas do metal, são as chamadas juntas de dilatação.



THAVORNC/GETTY IMAGES

Juntas de dilatação (destacadas em azul) em trilhos de uma ferrovia.

Essas juntas devem ser projetadas para suportar a variação térmica local. Caso o espaçamento não seja previsto corretamente, podem ocorrer distorções na via, como mostra a figura a seguir, em que um trecho da ferrovia se apresenta visivelmente deformado pela dilatação térmica dos trilhos, o que pode colocar em risco a segurança dos trens.

REPRODUÇÃO/DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DOS EUA

Trilhos de uma ferrovia distorcidos devido à dilatação térmica por causa da alta temperatura (Estados Unidos, 2019).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Também na construção civil, entre lajes, vigas, colunas e em pontes, devem ser previstas juntas de dilatação para que o material (geralmente concreto) tenha espaço para dilatar, evitando trincas e rachaduras que podem comprometer a segurança da estrutura.

DOUGLAS CLIFF/GETTY IMAGES

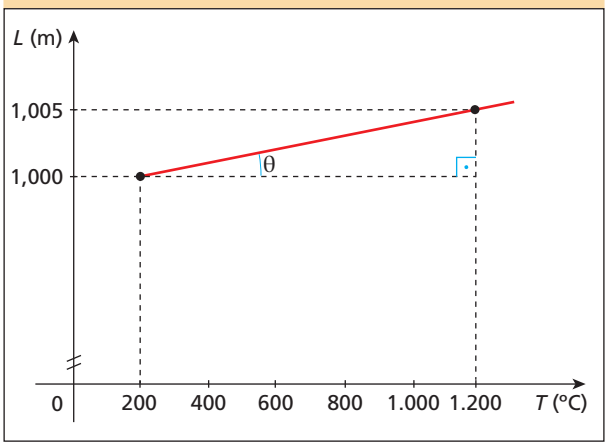
Junta de dilatação (destacada em azul) em uma ponte.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

O gráfico a seguir mostra a variação do comprimento *L* de uma barra metálica em função da temperatura *T* à medida que ela é aquecida em determinado forno sem mudança de estado físico.

Gráfico de $L \times T$



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da variação do comprimento *L* de uma barra metálica em função da temperatura *T*.

Pergunta-se:

a. Qual é o significado físico da declividade da reta nesse gráfico, isto é, de tg θ?

b. Qual é o valor do coeficiente de dilatação linear da liga metálica que constitui a barra?

Analisar o enunciado

Uma barra metálica é aquecida em um forno e o gráfico apresentado mostra a variação do comprimento dessa barra (*L*) em função da temperatura (*T*).

Selecionar as informações relevantes

De acordo com o gráfico, a variação do comprimento da barra em função da temperatura é linear.

Aplicar o conceito estudado

a. A tg θ (cateto oposto sobre o cateto adjacente do triângulo retângulo formado na figura) é numericamente igual ao quociente $\frac{\Delta L}{\Delta T}$.

Da equação da dilatação térmica linear, tem-se:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow \frac{\Delta L}{\Delta T} = L_0 \cdot \alpha$$

Logo: $\text{tg}\,\theta = \frac{\Delta L}{\Delta T} = L_0 \cdot \alpha$

O coeficiente angular da reta, ou declividade da reta, é numericamente igual ao produto do comprimento inicial da barra pelo respectivo coeficiente de dilatação linear ($L_0 \cdot \alpha$).

b. Do gráfico, obtêm-se:

$\Delta L = 1{,}005\ \text{m} - 1{,}000\ \text{m} = 0{,}005\ \text{m}$; e

$\Delta T = 1.200\ °\text{C} - 200\ °\text{C} = 1.000\ °\text{C}$

Aplicando-se a equação da dilatação térmica linear, determina-se o coeficiente de dilatação linear α.

$$\frac{\Delta L}{\Delta T} = L_0 \cdot \alpha \Rightarrow \frac{0{,}005\ \text{m}}{1.000\ °\text{C}} = 1{,}000\ \text{m} \cdot \alpha$$

$$\therefore \alpha = 5{,}0 \cdot 10^{-6}\ °\text{C}^{-1}$$

Verificar a solução

A ordem de grandeza do coeficiente de dilatação térmica linear é a mesma dos coeficientes de dilatação linear típicos, como os apresentados anteriormente para alguns materiais, portanto o resultado obtido é coerente.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

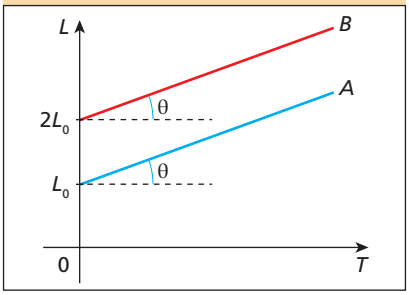
1. Enquanto não ocorre sua instalação, um trilho de aço com comprimento $L_0 = 20{,}000$ m, à temperatura $T_0 = 20$ °C, está depositado às margens de uma ferrovia em construção quando um incêndio florestal nas proximidades faz com que sua temperatura se eleve para $T = 70$ °C (valor bem menor que o ponto de fusão do aço, entre 1.400 °C e 1.500 °C, aproximadamente). Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do aço vale $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$, determine:

a. a variação de temperatura experimentada pelo trilho, em K; 1. a. 50 K

b. o comprimento final atingido pelo trilho devido à dilatação térmica linear. 1. b. 20,012 m

2. O diagrama a seguir representa a variação do comprimento L de duas barras metálicas, A e B, em função da elevação de temperatura T, conforme determina o fenômeno da dilatação térmica dos sólidos. Os gráficos são retilíneos e paralelos. Inicialmente, o comprimento da barra B é o dobro do comprimento da barra A.

Gráfico de $L \times T$ para as barras metálicas A e B



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da variação do comprimento L de duas barras metálicas (A e B) em função da temperatura T.

Sendo α_A e α_B os coeficientes de dilatação linear de A e B, respectivamente, é correto afirmar que: 2. Alternativa **b**.

a. $\alpha_A = \alpha_B$ **c.** $\alpha_A = \frac{1}{2}\alpha_B$ **e.** $\alpha_A = \frac{1}{3}\alpha_B$

b. $\alpha_A = 2\alpha_B$ **d.** $\alpha_A = 3\alpha_B$

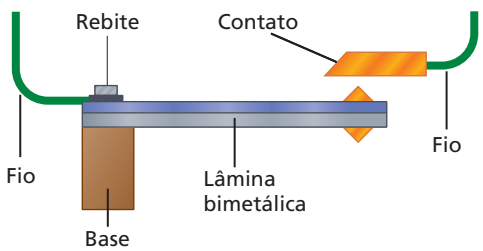
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Estudando o funcionamento de um termostato

O **termostato** é um dispositivo utilizado para controlar, ligar ou desligar máquinas a partir da medida da temperatura e está presente em equipamentos eletrodomésticos, como a geladeira e o ferro de passar roupas.

Ele é composto de duas lâminas de materiais diferentes acopladas uma na outra, como mostra a figura a seguir. Esse conjunto de lâminas é conhecido como lâmina bimetálica ou lâmina dupla.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da lâmina bimetálica em um termostato. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como as lâminas são de materiais diferentes, seus coeficientes de dilatação linear são distintos. Logo, ao serem resfriadas ou aquecidas, elas se curvam por causa da dilatação diferente que cada lâmina sofre. Devido a essa característica, o termostato é um dispositivo que pode ser usado para interromper ou conectar a ligação elétrica de uma máquina ou de um dispositivo para detecção e alarme de incêndio, por exemplo, dependendo da temperatura à qual ele é submetido.

OBJETIVO

Analisar a dilatação térmica de uma lâmina bimetálica para compreender o funcionamento de um termostato.

MATERIAIS

- Papel-alumínio e papel sulfite.
- 2 tipos de cartolina, de maior e menor espessura.
- 4 pilhas AA de 1,5 V e um suporte para 4 pilhas AA.
- Lâmpada halógena de 6 V e 10 W.
- Tesoura de pontas arredondadas e estilete.
- Fita isolante, fita adesiva, fita dupla-face e cola branca.
- Pregador de roupas e rolha.
- Prego de pelo menos 3 cm de comprimento.
- Marcador permanente na cor preta.
- Pequena caixa com dimensões aproximadas 4 cm × 4 cm × 4 cm.
- Pedaço de madeira com dimensões 20 cm × 5 cm ou papelão.
- Relógio.

É recomendável que o professor seja o responsável por fazer os cortes necessários durante a montagem do aparato experimental.

Cuidado com extremidades pontiagudas, como as do prego, e ao manusear a tesoura, o estilete e outros objetos cortantes, para evitar ferimentos.
As aparas de papel e fita isolante devem ser descartadas no lixo apropriado. O restante do material pode ser limpo e guardado para futuro reaproveitamento.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

PREPARE-SE!

Na figura que mostra a representação do termostato, a ligação será estabelecida quando a lâmina bimetálica se curvar para cima. Nesse caso, qual das lâminas tem o maior coeficiente de dilatação linear, a de baixo ou a de cima? Por quê?

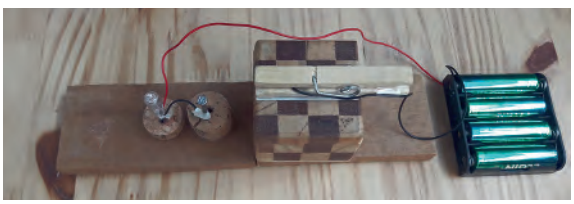
PROCEDIMENTO

- Usem o pedaço de madeira de 20 cm × 5 cm para formar uma base para o experimento. Caso não seja possível usar a madeira, cortem e colem pedaços de papelão com essas medidas para formar a base.
- Com o estilete, cortem a rolha transversalmente em duas partes de tamanhos diferentes: a parte maior será o suporte do prego e a outra, o da lâmpada. Usem a fita dupla-face para fixar as rolhas na base. Além dessa função de suporte, a rolha será usada para o ajuste fino da altura do prego: a altura da abertura do pregador deve ficar alinhada à cabeça do prego, como mostrado na figura a seguir.

JULIE ARC/ARQUIVO DA FOTÓGRAFA

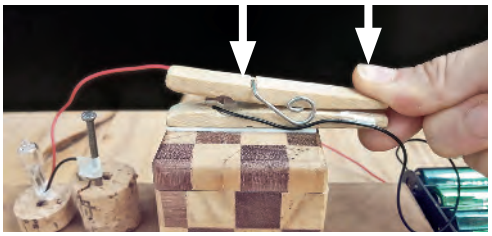
- Façam a ligação elétrica conforme a figura a seguir. O fio vermelho que sai do suporte de pilhas deve ser ligado a um dos terminais da lâmpada. O fio preto está dividido em duas partes, porque a lâmina de alumínio vai fechar o circuito posteriormente. Separem uma pequena parte do fio preto para fazer a conexão entre o terminal da lâmpada e o prego.

JULIE ARC/ARQUIVO DA FOTÓGRAFA



- A outra parte do fio preto é aquela que sai do suporte de pilhas e deve ser fixada no pregador com fita adesiva, como mostrado na imagem. Notem que a ponta do fio preto deve estar desencapada e a fita adesiva não deve cobrir essa parte. As setas brancas indicam os dois pontos de fixação do fio.

JULIE ARC/ARQUIVO DA FOTÓGRAFA



- Preparem três lâminas na medida 10 cm × 1,5 cm, uma com papel sulfite e duas com as cartolinas de maior e de menor espessura. Primeiro, cortem o papel ou a cartolina na medida indicada e depois colem esses pedaços em uma folha de papel-alumínio. Cortem o papel-alumínio por último para formar as lâminas com duas camadas.

JULIE ARC/ARQUIVO DA FOTÓGRAFA

- Ajustem a lâmina de papel sulfite no pregador, com o papel-alumínio virado para baixo. O contato da lâmina com o prego fechará o circuito e a lâmpada acenderá.
- Depois que a lâmpada acender, meçam quantos minutos demora para que a lâmina se curve e desfaça o contato elétrico com o prego. Meçam também quantos minutos se passam até que o contato elétrico seja feito novamente. Façam as medidas em local fechado e sem corrente de vento sobre o experimento para que o calor da lâmpada não seja dissipado.
- Repitam esse procedimento para as outras duas lâminas, organizando os dados em uma tabela.
- Com o marcador permanente, pintem de preto a face de papel-alumínio que está virada para baixo, logo em cima da lâmpada. Verifiquem se haverá diferença no tempo que elas demoram para desfazer o contato elétrico com o prego.

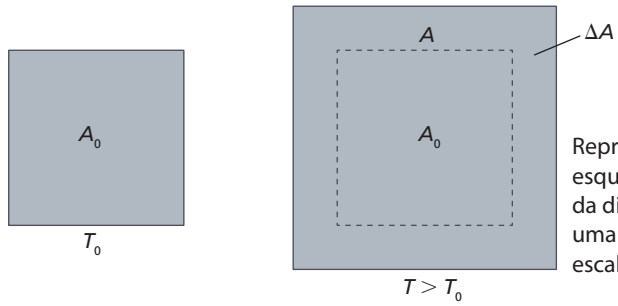
1. Com qual lâmina o termostato perdeu contato com o prego mais rapidamente: a de papel sulfite, a de cartolina menos espessa ou a de cartolina mais espessa?
2. Em qual dessas três lâminas o papel-alumínio pode ter atingido a maior temperatura? Por quê?
3. Qual seria o efeito se a lâmpada fosse posicionada mais distante do prego?
4. Se vocês tivessem de escolher umas das lâminas para montar um termostato que iria equipar um instrumento, qual delas seria a mais apropriada? Por quê?
5. O aparato experimental montado foi adequado para as medições realizadas? Se não, o que vocês sugeririam para melhorar o experimento?
6. Façam um resumo dos seus resultados e comparem as conclusões com os outros grupos, seguindo a orientação do professor.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Coeficiente de dilatação superficial

Quando analisamos objetos em que duas dimensões são relevantes (corpos bidimensionais), por exemplo, placas de metal, revestimentos de piso ou parede, além de tampas de ferro, devemos considerar um **coeficiente de dilatação superficial (β)**.

Para obter uma expressão matemática que represente a dilatação nesse caso, vamos considerar uma placa que tenha coeficiente de dilatação superficial β, superfície com área inicial A_0 e temperatura inicial T_0. Se aumentarmos sua temperatura para T, a área aumentará para A, conforme a figura a seguir, significativamente exagerada.



Representação esquemática (exagerada) da dilatação superficial de uma placa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Sendo $\Delta T = T - T_0$ a variação de temperatura e a dilatação superficial $\Delta A = A - A_0$, temos:

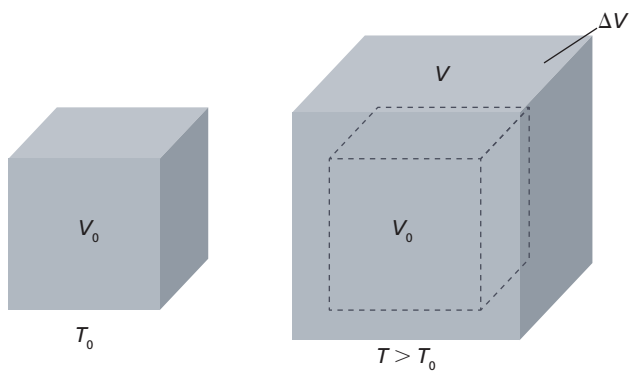
$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Há uma relação aproximada entre os coeficientes de dilatação linear e superficial que é dada por:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

Coeficiente de dilatação volumétrica

Por último, vamos estudar a dilatação em três dimensões. Nesse caso, usa-se o **coeficiente de dilatação volumétrica** (**γ**). Para obtermos uma expressão matemática, vamos considerar um bloco com coeficiente de dilatação volumétrica γ, que tenha volume inicial V_0 e temperatura inicial T_0. Se elevarmos sua temperatura para T, o volume aumentará para V, conforme ilustra a figura, exagerada, a seguir.



Representação esquemática (exagerada) da dilatação volumétrica de um bloco. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Sendo a variação de temperatura $\Delta T = T - T_0$ e a dilatação volumétrica $\Delta V = V - V_0$, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Assim como para os coeficientes de dilatação linear e superficial há uma relação aproximada, também há uma relação para os coeficientes de dilatação volumétrica e linear dada por:

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

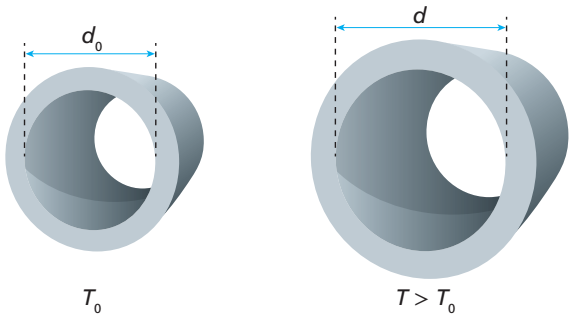
Dilatação de corpos com furos ou cavidades

Verifica-se que, quando um corpo com um furo ou uma cavidade é aquecido, o furo ou a cavidade se comportam, em termos de dilatação térmica, como se estivessem preenchidos pelo material que constitui o corpo, ou seja, a dilatação térmica ocorre como se o corpo fosse maciço.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura mostra um duto hidráulico de material com coeficiente de dilatação linear α que será aquecido da temperatura inicial T_0 à temperatura final T. O diâmetro inicial da cavidade interna do duto na temperatura T_0 é d_0 e o diâmetro final da cavidade interna na temperatura T é d. Nesse caso, o duto vai se dilatar termicamente e, consequentemente, a cavidade apresentará variação do seu diâmetro, comportando-se como se fosse constituída do mesmo material do duto. O diâmetro final será dado por: $d = d_n \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

No resfriamento, furos e cavidades se contraem também como se fossem constituídos do material do corpo.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática (exagerada) da dilatação térmica de um duto. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Exemplo 1

Considere as engrenagens e o eixo interno da caixa de marchas de um automóvel. Para garantir uma boa fixação entre essas peças, necessárias para que esse sistema suporte forças intensas durante o uso, o furo no centro das engrenagens é projetado com diâmetro muito próximo do diâmetro do eixo.

SCHLOL/E+/GETTY IMAGES

Engrenagens e eixos que compõem a caixa de marchas de um automóvel.

Sabendo que a engrenagem tem coeficiente de dilatação superficial $\beta = 82 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ e que o raio inicial do furo em seu centro mede 4,5 mm, qual é a diferença de temperatura para que a área do furo seja 0,5 mm^2 maior e o eixo possa ser encaixado?

Aplicando a equação da dilatação superficial, temos:

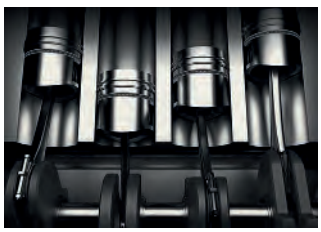
$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow 0{,}5\ mm^2 = \pi \cdot (4{,}5\ mm)^2 \cdot 82 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \cdot \Delta T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{5 \cdot 10^{-1}\ mm^2}{5.216 \cdot 10^{-6}\ mm^2\ °C^{-1}} \therefore \Delta T \simeq 96\ °C$$

Note que o furo da engrenagem (região vazia) se comporta, em termos de dilatação térmica, como se fosse preenchido pelo mesmo material da peça.

Exemplo 2

Quando engenheiros automobilísticos projetam as peças do motor dos veículos, é necessário considerar a dilatação térmica, pois o motor em funcionamento atinge cerca de 90 °C e os pistões, mesmo dilatados, precisam se movimentar livremente pelo cilindro dentro do bloco do motor.



3ALEXD/E+/GETTY IMAGES

Interior do bloco de um motor onde os pistões se movimentam para cima e para baixo pelo cilindro.

Considere um dos cilindros de alumínio dentro do bloco do motor de um carro, com 538 cm^3 de volume inicial. Quando o motor é acionado, a temperatura é elevada de 20 °C para 90 °C. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do alumínio é $\alpha = 23{,}1 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$, qual é a dilatação volumétrica que esse cilindro sofrerá?

O coeficiente de dilatação volumétrica é dado por:

$$\gamma = 3 \cdot \alpha \Rightarrow \gamma = 3 \cdot 23{,}1 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \therefore \gamma = 69{,}3 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$$

Considerando o coeficiente de dilatação volumétrica calculado, podemos determinar a variação de volume do cilindro.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta V = 538\ cm^3 \cdot 69{,}3 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \cdot (90\ °C - 20\ °C) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta V = 2{,}6 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6}\ cm^3 \therefore \Delta V = 2{,}6\ cm^3$$

Note que o cilindro dentro do qual se desloca o pistão (região vazia) é uma cavidade e se comporta, em termos de dilatação, como se fosse preenchido pelo alumínio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. A temperatura pode variar ao longo do dia ou das estações, fazendo com que os materiais de revestimento se expandam com o calor e se contraiam com o frio

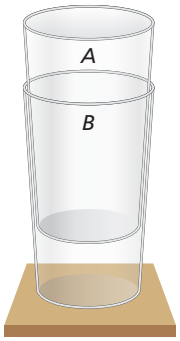
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Muitas vezes, ladrilhos que recobrem pisos, bem como placas cerâmicas de revestimento de paredes, se soltam da argamassa de fixação, exigindo reparos, até mesmo substituição. Explique por que isso ocorre, considerando o conceito de dilatação térmica superficial.

4. (Unesp-SP) Dois copos de vidro iguais, em equilíbrio térmico com a temperatura ambiente, foram guardados, um dentro do outro, conforme mostra a figura. Uma pessoa, ao tentar desencaixá-los, não obteve sucesso. Para separá-los, resolveu colocar em prática seus conhecimentos da Física térmica. 4. Alternativa **e**.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

De acordo com as proposições a seguir, o único procedimento capaz de separar os copos é:

a. mergulhar o copo *B* em água em equilíbrio térmico com cubos de gelo e encher o copo *A* com água à temperatura ambiente.

b. colocar água quente (superior à temperatura ambiente) no copo *A*.

c. mergulhar o copo *B* em água gelada (inferior à temperatura ambiente) e deixar o copo *A* sem líquido.

d. encher o copo *A* com água quente (superior à temperatura ambiente) e mergulhar o copo *B* em água gelada (inferior à temperatura ambiente).

e. encher o copo *A* com água gelada (inferior à temperatura ambiente) e mergulhar o copo *B* em água quente (superior à temperatura ambiente).

Dilatação volumétrica de líquidos

Os sólidos e os líquidos se dilatam de maneira muito diferente dos gases, cujas dimensões são muito sensíveis à pressão aplicada sobre eles. A maioria dos sólidos é incompressível, assim como a maioria dos líquidos; por isso, é possível estudar sua dilatação térmica sem considerar a pressão à qual estão submetidos.

O estudo da dilatação de corpos sólidos pode ser feito com base nas equações das dilatações linear, superficial e volumétrica. No caso dos líquidos, devemos levar em conta que eles adquirem a forma tridimensional do recipiente em que estão contidos, pois não têm forma própria. Ao ter sua temperatura elevada, o líquido se expande pela própria dilatação, chamada **dilatação volumétrica real** (ΔV). Porém, como o recipiente que o contém também se dilata ($\Delta V_{recipiente}$), a **dilatação aparente** ($\Delta V_{aparente}$), que é a dilatação visível, é diferente da real.

Se um recipiente cheio de água, por exemplo, é levado ao fogo, quando a água aquece sem ferver, parte do conteúdo pode transbordar, caso a dilatação real do líquido seja maior do que a dilatação volumétrica do recipiente.

Podemos relacionar a dilatação aparente e a do recipiente com a dilatação real por:

$$\Delta V = \Delta V_{aparente} + \Delta V_{recipiente}$$

A tabela a seguir apresenta o coeficiente de dilatação volumétrica de alguns líquidos.

Coeficientes de dilatação volumétrica γ de alguns líquidos

Líquido	γ ($10^{-4}\,°C^{-1}$)
Água a 20 °C	2,1
Álcool etílico	1,12
Acetona	1,5
Gasolina	9,6
Glicerina	4,85
Mercúrio	1,82
Petróleo	10

Fonte: elaborado com base em SERWAY, R.; JEWETT, J. **Principles of Physics**: a Calculus-Based Text. Independence: Cengage, 2013.

Valores dos coeficientes de dilatação volumétrica (γ) de alguns líquidos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Um laboratório faz um teste de expansão térmica com mercúrio em um frasco aberto de 2 L de capacidade. O frasco está completamente cheio e à temperatura de 10 °C. Quando o conjunto é aquecido até 60 °C, o mercúrio transborda 20 mL para fora do frasco. Se o valor do coeficiente de dilatação volumétrica do material do frasco é $1{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$, qual é a dilatação volumétrica real do mercúrio?

A dilatação volumétrica real é calculada com base na equação:

$$\Delta V = \Delta V_{aparente} + \Delta V_{recipiente} \Rightarrow \Delta V = \Delta V_{aparente} + V_{recipiente} \cdot \gamma_{recipiente} \cdot \Delta T$$

Como $\Delta V_{aparente} = 20\ mL = 0{,}02\ L$, então:

$$\Delta V = 0{,}02\ L + 2\ L \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1} \cdot (60\ °C - 10\ °C) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \Delta V = 0{,}02\ L + 0{,}001\ L \therefore \Delta V = 0{,}021\ L$$

Uma consequência da dilatação e da contração volumétrica de um material é a variação de sua densidade (*d*). Da expressão geral para a dilatação volumétrica podemos obter a seguinte relação para a densidade.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta V = \frac{m}{d} \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow d = \frac{m \cdot \gamma \cdot \Delta t}{\Delta V}$$

Note que *d* é inversamente proporcional a ΔV; portanto, se ocorrer dilatação volumétrica, a densidade do material diminuirá; e se houver contração volumétrica, a densidade aumentará.

Existe um mito de que abastecer o carro em dias frios pode ser mais econômico, pois em 1 L do volume do tanque haveria maior massa de combustível. No entanto, essa variação de volume não é significativa, porque o combustível fica armazenado em tanques subterrâneos com isolamento térmico.

Comportamento anômalo da água

O que seria da vida subaquática, que abrange peixes e crustáceos, se toda a massa líquida de mares, lagos e rios congelasse ao atingir 0 °C?

Se essa situação ocorresse, animais e plantas que habitam ecossistemas aquáticos não sobreviveriam à chegada do inverno em países que atingem temperaturas menores ou iguais a 0 °C, por exemplo. Felizmente isso não ocorre, já que a água de mares, lagos e rios congela apenas em sua superfície e o gelo formado em regiões de menor profundidade serve de isolamento térmico, o que favorece a perenidade da vida subaquática.

A água apresenta um comportamento que destoa da maioria das substâncias, que se dilatam termicamente no aquecimento e se contraem no resfriamento. Verifica-se que, no aquecimento de 0 °C a 4 °C, a água apresenta um comportamento oposto, isto é, ela se contrai ao invés de se dilatar. Esse fato é conhecido como **comportamento anômalo da água**.

Com a redução das temperaturas ambiente desde valores relativamente altos até 4 °C, a água superficial de lagos, por exemplo, diminui de volume e aumenta de densidade $\left(d = \frac{m}{V}\right)$, o que provoca o deslocamento de massas frias, por correntes de convecção, da superfície para as regiões profundas e de massas de água mais quentes do fundo para as regiões mais próximas da superfície. De 4 °C a 0 °C, no entanto, a água fria permanece na superfície, já que fica menos densa. Dessa forma, a água da superfície congela quando a temperatura externa atinge 0 °C, formando uma camada de gelo que contribui para o isolamento térmico e para a manutenção da vida nas camadas subjacentes, onde a água permanece mais quente e líquida.

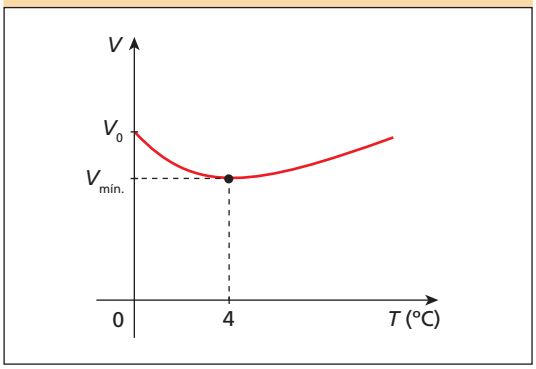
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MICHELE URSI/SHUTTERSTOCK

Para pescar, um homem abriu um buraco na camada de gelo formada na superfície de um lago. Sob o gelo, nessa situação, a água se mantém líquida e é habitada por peixes e outras formas de vida subaquática (Trakai, Lituânia, 2019).

Os gráficos a seguir, esboçados para a substância água em pressão ambiente de 1 atm, mostram o comportamento do volume (*V*) em função da temperatura (*T*) e da densidade (*d*) em função da temperatura (*T*).

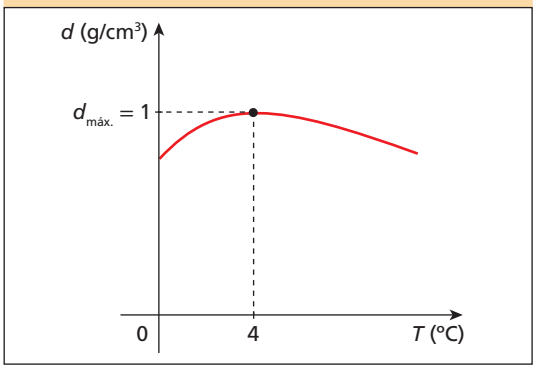
Gráfico de $V \times T$ para o comportamento anômalo da água



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica do comportamento anômalo da água considerando o volume (*V*) em função da temperatura (*T*).

Gráfico de $d \times T$ para o comportamento anômalo da água



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica do comportamento anômalo da água considerando a densidade (*d*) em função da temperatura (*T*).

Note que, a 4 °C, a água atinge sua máxima contração (volume mínimo), o que implica densidade máxima.

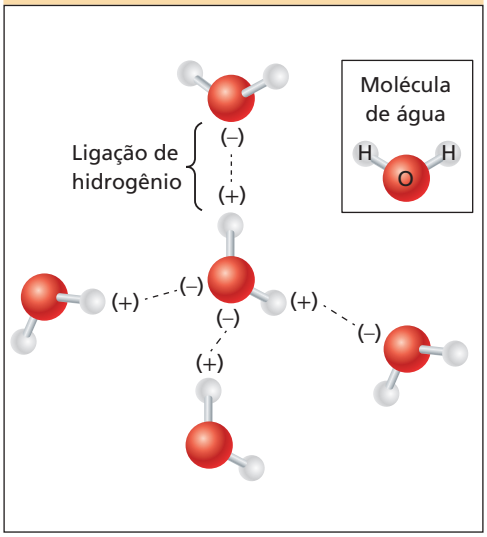
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O comportamento anômalo da água se deve à sua estrutura molecular típica que, no resfriamento de 4 °C a 0 °C, propicia a formação de ligações de hidrogênio. Esse arranjo molecular resulta no aumento de volume da água nesse intervalo de temperatura.

Fonte: elaborado com base em MGHAIOUINI, R. *et al*. Influence of the Electromagnetic Device Aqua 4D on Water Quality and Germination of Lettuce (*Lactuca sativa L.*). **International Journal of Current Engineering and Technology**, [*S. l.*], v. 10, p. 19-24, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Houda-Taimourya/publication/338689563_Influence_of_the_Electromagnetic_Device_on_Water_Quality_and_Germination_of_Lettuce_Lactuca_sativa_L/links/5e5e3a64299bf1bdb84d2949/Influence-of-the-Electromagnetic-Device-on-Water-Quality-and-Germination-of-Lettuce-Lactuca-sativa-L.pdf.. Acesso em: 10 out. 2024.

Representação esquemática de moléculas de água conectadas por ligações de hidrogênio. A água é um composto químico formado por um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio (H_2O).

Moléculas de água conectadas por ligações de hidrogênio



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. A gasolina é vendida por litro, mas em sua utilização como combustível a massa é o que importa. Um aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos.

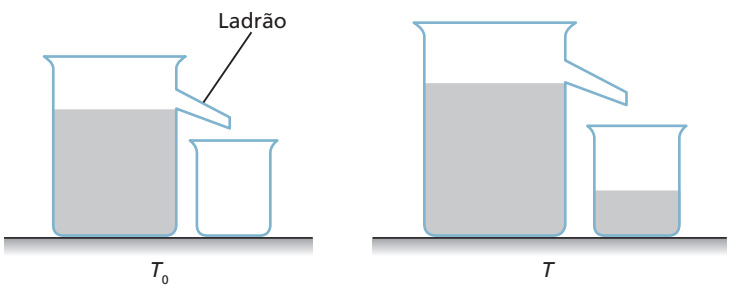
Analise as proposições a seguir e classifique cada uma como correta ou incorreta.

I. Se os tanques não fossem subterrâneos, seria mais vantajoso abastecer o carro na hora mais quente do dia para comprar maior massa de gasolina por litro do combustível.

II. Se os tanques não fossem subterrâneos, abastecendo o carro em dias de temperatura mais baixa, a massa de combustível para cada litro comprado seria maior do que em dias mais quentes. 5. I. incorreta; II. correta; III. correta

III. Se a gasolina fosse vendida por quilograma e não por litro, o problema comercial decorrente da dilatação térmica da gasolina estaria resolvido e os tanques não precisariam ser subterrâneos.

6. Em um laboratório de Física, fez-se um experimento em que 100,0 cm^3 de mercúrio, de coeficiente de dilatação volumétrica $\gamma_{Hg} = 18 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$, foram acondicionados à temperatura inicial $T_0 = 0$ °C em um béquer de vidro transparente dotado de um bico (ladrão) em sua lateral. Nessas condições, o líquido preencheu o béquer exatamente até o nível da base do bico, conforme indica a figura a seguir.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do experimento. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Aquecendo-se o sistema à temperatura $T = 120$ °C, verificou-se que extravasou pelo bico um volume de 1,8 cm^3 de mercúrio, que foi recolhido em outro recipiente colocado ao lado do béquer. Com base nessas informações, determine o coeficiente de dilatação linear do vidro. 6. $1{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

7. Ao se solidificar, a água aumenta de volume. Com base no que você estudou sobre o comportamento anômalo da água, explique por que isso ocorre.

7. Porque a rede cristalina da água, quando no estado sólido, ocupa mais espaço que o arranjo molecular da mesma massa de água no estado líquido.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Fixar adequadamente um revestimento cerâmico em uma parede é uma tarefa que requer prática e habilidade. Deve-se utilizar a argamassa certa, mantendo-se entre peças adjacentes um espaço adequado que contemple a dilatação térmica do material. Caso esses cuidados não sejam tomados o revestimento pode soltar-se, o que é sempre motivo de transtorno e prejuízos.

YUNAVA1/GETTY IMAGES

Pessoa afixando revestimentos cerâmicos em uma parede.

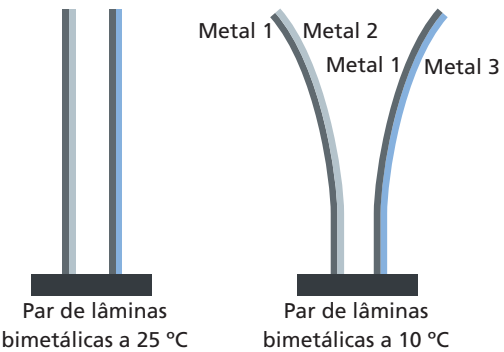
Em um ensaio para estudar o comportamento térmico de placas cerâmicas quadradas para revestimento de paredes, com dimensões 25,0 cm × 25,0 cm na temperatura $T_0 = 10\ °C$, esse material foi aquecido à temperatura $T = 50\ °C$. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear dessa cerâmica é $\alpha = 1{,}0 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}$ e considerando-se expansões livres, determine nesse aquecimento:

a. a distância mínima entre peças adjacentes (juntas de dilatação) para que não haja esforços mútuos de compressão entre elas; 1. a. 1,0 mm

b. a variação da área superficial de uma peça. 1. b. 5,0 cm²

2. (UFPE) Um par de lâminas bimetálicas se apresenta sem deformação a 25 °C conforme a figura. Uma das partes de cada par é constituída pelo mesmo metal (metal 1), sendo a segunda parte de cada lâmina bimetálica constituída por metais diversos (metal 2 e metal 3). Ao baixar a temperatura para 10 °C as duas lâminas se deformam em acordo com o que está representado na figura.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Sendo α_1, α_2 e α_3 respectivamente os coeficientes de dilatação linear do metal 1, do metal 2 e do metal 3, a relação entre estes coeficientes é 2. Alternativa **d**.

a. $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$

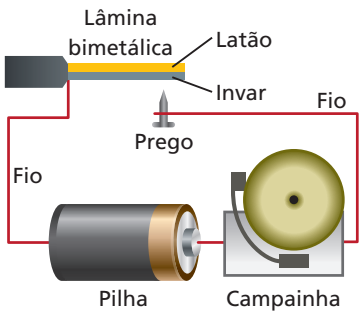
b. $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$

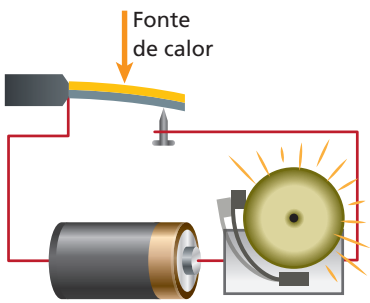
c. $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$

d. $\alpha_3 > \alpha_1 > \alpha_2$

e. $\alpha_3 < \alpha_1 < \alpha_2$

3. Locais de grande afluxo de pessoas, como *shoppings*, aeroportos e hospitais, dispõem de detectores de incêndio no teto. Esses sistemas de detectores de incêndio, em geral, contêm dispositivos conectados a um circuito elétrico que, ao serem superaquecidos, fecham o circuito e, com a passagem de corrente elétrica, alarmes sonoros são acionados. O esquema a seguir ilustra o funcionamento de um tipo de detector que utiliza uma lâmina bimetálica de invar (ferro e níquel) na face de baixo, e de latão (cobre e zinco) na face de cima. As duas partes da lâmina têm comprimentos iniciais iguais e estão rigidamente acopladas entre si. Com o aumento da temperatura, ocorre a dilatação dos materiais que constituem a lâmina bimetálica.





Representação esquemática do funcionamento de um detector de incêndio que utiliza uma lâmina bimetálica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

De acordo com a figura, é possível concluir que:

a. o invar tem igual coeficiente de dilatação linear que o latão.

b. o invar tem maior coeficiente de dilação linear que o latão.

c. o invar tem menor coeficiente de dilatação linear que o latão.

d. a lâmina bimetálica se encurva para baixo porque a temperatura local se avizinha do ponto de fusão do invar e do latão.

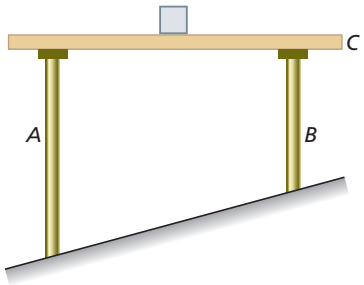
e. o alarme é acionado porque a lâmina bimetálica interrompe o circuito. 3. Alternativa **c**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Na figura a seguir, são representadas duas hastes, *A* e *B*, fabricadas de uma mesma liga metálica – latão – e articuladas a uma plataforma, *C*, plana e perfeitamente lisa em sua superfície superior. Sobre essa plataforma, inicialmente em posição horizontal, no centro desta, encontra-se em repouso um bloquinho, simplesmente apoiado em *C*.

4. Alternativa **b**.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do bloquinho em repouso sobre a plataforma *C*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

As hastes serão aquecidas igualmente, manifestando o fenômeno da dilatação térmica. Sabendo que o comprimento inicial de *A* é maior que o comprimento inicial de *B* e que as hastes têm seções transversais iguais, pode-se inferir que, logo depois do aquecimento:

a. o bloquinho vai deslizar para a esquerda, no sentido da haste *A*.

b. o bloquinho vai deslizar para a direita, no sentido da haste *B*.

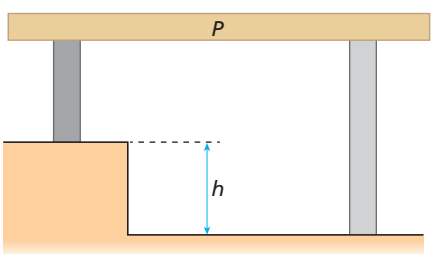
c. o bloquinho vai permanecer em repouso em sua posição original.

d. a haste *A* vai sofrer maior dilatação térmica relativa percentual que a haste *B*.

e. a haste *A* vai sofrer menor dilatação térmica relativa percentual que a haste *B*.

5. Uma plataforma *P* foi apoiada em duas colunas, conforme a figura a seguir. 5. $h = 0{,}60$ m

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



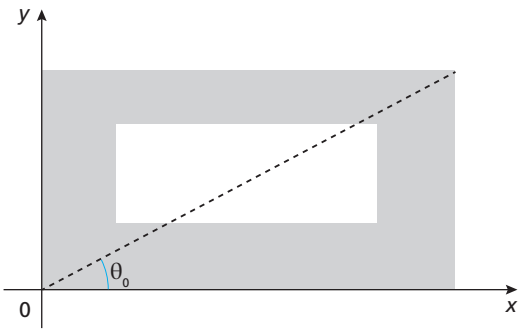
Representação esquemática da plataforma *P* apoiada sobre duas colunas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Devido a um desnível do terreno, para manter a plataforma sempre na horizontal a qualquer temperatura, foi preciso fazer uma das colunas de concreto e a outra de ferro. Qual é o valor do desnível *h*, sabendo-se que a maior coluna é de concreto e mede 7,8 m a 0 °C?

Dados: $\alpha_{concreto} = 12 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$ e $\alpha_{ferro} = 13 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

6. Uma chapa metálica, plana e retangular, feita de material homogêneo de coeficiente de dilatação linear igual a α e dotada de um furo central também retangular, está inicialmente à temperatura T_0, posicionada em relação a um referencial cartesiano *xy* conforme indica o esquema a seguir. Nota-se que, nesse caso, $\text{tg}\,\theta_0 = 0{,}40$, em que θ_0 é o ângulo entre uma das diagonais da chapa e o eixo *x*.

6. Alternativa **c**.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma chapa metálica retangular, dotada de um furo, posicionada em relação a um referencial cartesiano *xy*. (Imagem sem escala; cores fantasia.)

Aquecendo-se uniformemente a chapa até uma temperatura $T = 2\ T_0$, esta se dilata isotropicamente sem sofrer fusão e o ângulo entre a referida diagonal e o eixo *x* assume um valor θ, tal que:

a. $\text{tg}\,\theta = 0{,}10$

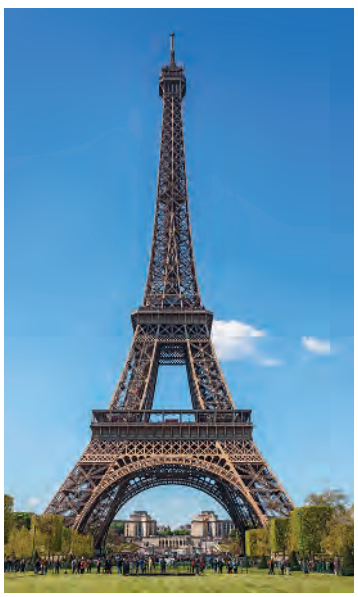
b. $\text{tg}\,\theta = 0{,}20$

c. $\text{tg}\,\theta = 0{,}40$

d. $\text{tg}\,\theta = 0{,}80$

e. $\text{tg}\,\theta = 1{,}60$

7. A torre Eiffel, em Paris, foi inaugurada em 31 de março de 1889 para comemorar o centenário da Revolução Francesa e marcar a Expo Universal de Paris. O construtor responsável pela obra foi Gustave Alexandre Eiffel, engenheiro francês que também projetou a estrutura da estátua da Liberdade, em Nova York, nos Estados Unidos, entre outras obras importantes mundo afora.



NIKADA/GETTY IMAGES

Torre Eiffel (Paris, França, 2024).

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A torre Eiffel tem cerca de dez mil toneladas de aço em uma estrutura vazada com 324 m de altura. A área constituída por aço, exposta à radiação solar, equivale a 10.000 m^2.

Considere a taxa média de radiação solar sobre o aço de que é feita a torre 1.000 $J/m^2 \cdot s$, entre 10 h e 15 h de um solstício de verão; o calor específico sensível do aço 0,20 cal/g · °C; o coeficiente de dilatação linear do aço $1{,}1 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$; as temperaturas típicas registradas em Paris no dia mais frio do inverno −5 °C e no dia mais quente do verão 35 °C. Adote: 1 cal = 4 J.

Responda às questões a seguir.

a. Qual é a quantidade de energia térmica solar, em joule, incidente sobre o aço de que é feita a torre entre 10 h e 15 h de um solstício de verão? 7. a. $1{,}8 \cdot 10^{11}$ J

b. Supondo que às 10 h de um solstício de verão a temperatura do aço de que é feita a torre é de 20,0 °C, qual será a temperatura verificada nesse material às 15 h do mesmo dia? 7. b. 42,5 °C

c. Do dia mais frio do inverno ao dia mais quente do verão, devido ao fenômeno da dilatação térmica, qual é o acréscimo de altura verificado na torre Eiffel, em centímetro? Dê o resultado com três algarismos significativos. 7. c. 14,3 cm

8. No que se refere à dilatação térmica, a água tem um comportamento que destoa da maioria das substâncias. Estas aumentam de volume com o aquecimento, enquanto a água, de 0 °C a 4 °C, se contrai, diminuindo de volume, e a partir de 4 °C vai se dilatando conforme a temperatura sobe. Esse desempenho fora do padrão é chamado comportamento anômalo da água. Em razão disso, nos países em que o inverno atinge temperaturas como essas e ainda menores, mares, rios e lagos congelam apenas na superfície, o que contribui para a sobrevivência de animais aquáticos durante o inverno em regiões mais frias do planeta Terra.

HELIVIDEO/GETTY IMAGES

Gelo sobre a superfície da água no lago Abraham (Alberta, Canadá, 2019).

Com base no texto, analise as proposições a seguir e indique a alternativa correta. 8. Alternativa **e**.

I. Aquecendo-se a água de 0 °C a 4 °C, ela se torna menos densa, tendendo a ficar por baixo de camadas de água mais frias.

II. A chegada do inverno nos países frios faz com que a água líquida de mares, rios e lagos, em temperaturas inferiores a 4 °C, se aloje em camadas mais superficiais.

III. A formação de gelo nas camadas superficiais contribui para a isolação térmica da água líquida de camadas subjacentes, que se mantém acima de 0 °C.

a. As proposições I, II e III são verdadeiras.

b. As proposições I, II e III são falsas.

c. Apenas as proposições I e II são verdadeiras.

d. Apenas as proposições I e III são verdadeiras.

e. Apenas as proposições II e III são verdadeiras.

9. (Unesp-SP) Nos últimos anos temos sido alertados sobre o aquecimento global. Estima-se que, mantendo-se as atuais taxas de aquecimento do planeta, haverá uma elevação do nível do mar causada, inclusive, pela expansão térmica, causando inundação em algumas regiões costeiras. Supondo, hipoteticamente, os oceanos como sistemas fechados e considerando que o coeficiente de dilatação volumétrica da água é aproximadamente $2 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}$ e que a profundidade média dos oceanos é de 4 km, um aquecimento global de 1 °C elevaria o nível do mar, devido à expansão térmica, em, aproximadamente, 9. Alternativa **c**.

a. 0,3 m.

b. 0,5 m.

c. 0,8 m.

d. 1,1 m.

e. 1,7 m.

10. O fenômeno será mais bem notado no recipiente *B*.

10. Considere o seguinte experimento: uma pessoa preenche dois recipientes, *A* e *B*, com massas iguais de água líquida à temperatura ambiente, sendo o recipiente *A* de alumínio (com paredes finas) e o recipiente *B* de isopor (com paredes mais grossas). Admita que os recipientes tenham o mesmo formato e capacidade e que eles sejam alojados dentro do congelador de uma geladeira. Em qual dos recipientes deve ser mais evidente o fenômeno de congelamento apenas superficial da água, similar ao que acontece em mares, lagos e rios devido ao comportamento anômalo da água? Explique. Se achar conveniente, reproduza o experimento descrito com os estudantes.

11. Em muitas situações, o aumento de volume da água na solidificação traz problemas indesejáveis. Em grupo com dois colegas, pesquisem os efeitos da dilatação térmica nos três casos a seguir e expliquem por que o aumento do volume da água na solidificação pode ser um problema em cada um dos três casos.

a. Água dentro dos dutos e encanamentos de casas e edifícios. 11. a. A solidificação da água pode danificar as instalações hidráulicas.

b. Sistemas de refrigeração dos veículos, como radiadores e pequenos dutos de circulação de fluidos. 11. b. A solidificação da água pode danificar esses sistemas.

c. Vasos de circulação da seiva nas plantas. 11. c. Nas plantas, a seiva congela e o aumento de volume verificado estoura os vasos de circulação, matando as brotações mais tenras e as folhas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 14

Escalas termométricas e gases ideais

ROBERTO MACHADO NOA/GETTY IMAGES

Atmosfera terrestre vista do espaço. Ela é uma das responsáveis pelo equilíbrio térmico do planeta Terra.

O planeta Terra é um exemplo de sistema que pode ser interpretado por meio de seus processos de transformação de energia e de transformações gasosas. Composto externamente de uma camada fluida de gases, a atmosfera terrestre, o planeta Terra depende, entre outros fatores, do equilíbrio de um conjunto de variáveis, como temperatura, pressão e composição dessa camada para a manutenção da vida. O desequilíbrio em um desses parâmetros pode levar a consequências danosas para o ambiente e para os seres vivos.

Assim como ocorre com a atmosfera terrestre, o funcionamento de diversos outros sistemas dinâmicos depende de fontes de energia primária e de processos para transformá-la em outras modalidades de energia. O corpo humano, por exemplo, utiliza a energia química proveniente dos alimentos para dispor de energias elétrica e mecânica, necessárias para a realização de processos internos e externos. Além disso, o corpo humano realiza trocas de calor constantemente, faz a conversão de trabalho em calor e efetua trocas gasosas.

Neste capítulo, estudaremos o conceito de temperatura, as principais escalas termométricas e os gases ideias, suas variáveis de estado e respectivas transformações gasosas.

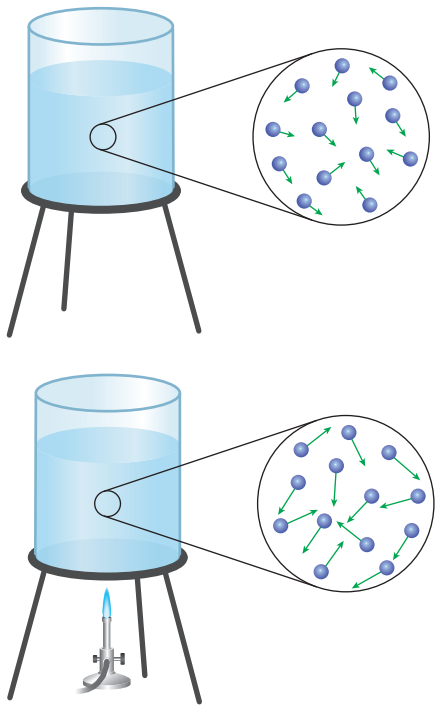
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Temperatura

A **temperatura** (*T*) de um corpo é uma medida do grau de agitação das partículas que o compõem. Como o movimento de cada partícula depende de sua energia cinética, entendemos que a temperatura de um corpo é maior quanto maior for a energia cinética das partículas que o constituem.

Quando um recipiente com determinado material é colocado sobre uma chama, as partículas desse material adquirem maior energia cinética e, portanto, sua temperatura aumenta.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um recipiente com determinado material. Nos detalhes, modelos submicroscópicos representam o movimento das partículas em duas situações distintas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A temperatura é medida por um instrumento denominado **termômetro**. Apesar de atualmente existirem termômetros digitais, alguns termômetros contêm uma substância líquida, geralmente álcool colorido, dentro de um tubo bem fino, também chamado de capilar. Conforme a temperatura aumenta, o volume do álcool também aumenta; com isso, ele atinge diferentes alturas, identificadas pelas marcações do tubo. Nesse caso, a altura da coluna de álcool dentro do tubo é a grandeza associada à variação da temperatura, chamada **grandeza termométrica**.

DEBIBISHOP/GETTY IMAGES

Termômetro de solo com coluna de álcool colorido. A altura atingida por essa coluna pode ser associada à temperatura local.

Escalas termométricas

Escalas termométricas consistem em conjuntos de valores numéricos utilizados para determinar a variação quantitativa da temperatura usando instrumentos medidores.

Para definir uma escala termométrica, é necessário escolher dois pontos fixos de referência, geralmente associados a fenômenos térmicos recorrentes ou facilmente reprodutíveis.

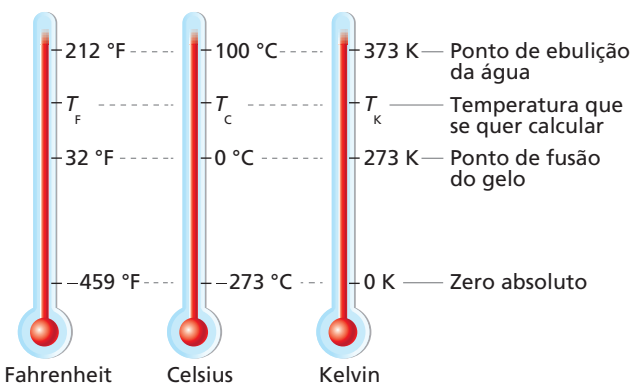
As escalas mais consagradas e utilizadas são as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

A **escala Celsius** é a mais empregada no Brasil. Seu criador, o físico sueco Anders Celsius (1701-1744), definiu os pontos de ebulição da água e de fusão do gelo como referência para a sua escala. Em sua homenagem, a unidade de medida é chamada grau Celsius (°C). Ao ponto de ebulição da água atribui-se o valor 100 °C e, ao ponto de fusão do gelo, 0 °C.

Nos Estados Unidos e na Inglaterra, é mais utilizada a **escala Fahrenheit**, criada pelo físico germano-polonês Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736). Nessa escala, a unidade de medida é o grau Fahrenheit (°F), o ponto de fusão do gelo tem temperatura de 32 °F e o ponto de ebulição da água, de 212 °F.

O cientista irlandês William Thomson (1824-1907), o Lorde Kelvin, propôs uma escala em que o zero representaria a temperatura na qual as partículas de um corpo estariam paradas, situação imaginária denominada zero absoluto, ou seja, nesse ponto, a energia térmica do sistema seria nula. Na escala Celsius, o valor do zero absoluto corresponde a –273,15 °C ou, aproximadamente, –273 °C. A escala Kelvin tem como unidade de medida o Kelvin (K), que é a unidade de temperaturas do Sistema Internacional de Unidades (SI). É importante citar que um intervalo térmico de 1 kelvin corresponde a um intervalo térmico de 1 grau Celsius, isto é, Kelvin adotou como unidade de variação da sua escala o grau Celsius.

A ilustração a seguir relaciona em termômetros iguais os pontos fixos de referência das três escalas termométricas: Fahrenheit, Celsius e Kelvin.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Comparação entre termômetros iguais graduados nas escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os valores de temperatura podem ser convertidos de uma escala para outra por meio de proporcionalidades que originam as chamadas equações termométricas. Vamos considerar T_C o valor da temperatura em grau Celsius, T_F o valor em grau Fahrenheit e T a temperatura em Kelvin; assim:

$$\frac{T_C - 0\,°C}{100\,°C - 0\,°C} = \frac{T_F - 32\,°F}{212\,°F - 32\,°F} = \frac{T_C - 273\,K}{373\,K - 273\,K}$$

Portanto, as três escalas se relacionam matematicamente.

$$\frac{T_C}{5\,°C} = \frac{T_F - 32\,°F}{9\,°F} = \frac{T - 273\,K}{5\,K}$$

Exemplo

Considera-se estado febril aquele em que a temperatura corpórea fica acima de 98,6 °F. Qual é o valor de temperatura correspondente na escala Celsius?

Convertendo o valor de temperatura, temos:

$$\frac{T_C}{5\,°C} = \frac{T_F - 32\,°F}{9\,°F} \Rightarrow \frac{T_C}{5\,°C} = \frac{98{,}6\,°F - 32\,°F}{9\,°F} \therefore T_C = 37\,°C$$

ATIVIDADE COMENTADA

O aquecimento global tem provocado mudanças no clima e eventos extremos, como tempestades devastadoras e incêndios florestais. As amplitudes térmicas em certos locais da Terra (diferença entre a máxima e a mínima temperaturas registradas) vêm provocando situações atípicas, como o derretimento dos gelos polares com consequente elevação do nível dos mares. Em Toronto, no Canadá, por exemplo, registrou-se no inverno de 2023 a temperatura de –25 °C e, no verão do mesmo ano, 35 °C. Determine o valor dessa amplitude térmica nas escalas termométricas Kelvin e Fahrenheit.

Analisar o enunciado

O enunciado apresenta os valores máximo e mínimo das temperaturas registradas no verão e no inverno e pede a amplitude térmica, isto é, a diferença numérica entre o valor máximo e o valor mínimo da temperatura nesse período nas escalas Kelvin e Fahrenheit.

Selecionar as informações relevantes

O enunciado fornece a temperatura mínima e a temperatura máxima que devem ser consideradas na escala Celsius. Como é a única informação de que dispomos, partiremos do cálculo da amplitude térmica ΔT_C na escala Celsius para posteriormente chegar ao cálculo dessa variação de temperatura nas escalas Kelvin e Fahrenheit.

Aplicar o conceito estudado

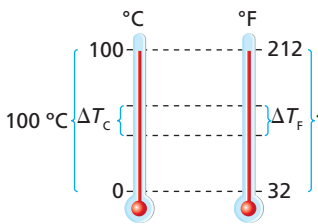
A amplitude térmica registrada em Toronto em 2023, em Celsius, é ΔT_C, que pode ser calculada como:

$$\Delta T_C = 35\,°C - (-25\,°C) \therefore \Delta T_C = 60\,°C$$

A escala Kelvin, assim como a escala Celsius, tem cem intervalos entre os valores das temperaturas de fusão e ebulição da água, o que significa que, em termômetros iguais, cada intervalo corresponde a 1 grau nas respectivas escalas. Logo, podemos dizer que as variações de temperatura nas escalas Kelvin e Celsius são medidas pelo mesmo número. Assim:

$$\Delta T_K = 60\,K$$

A relação entre as variações de temperatura nas escalas Fahrenheit e Celsius é determinada pela proporção a seguir.



Representação esquemática da relação entre os pontos fixos de referência das escalas termométricas Celsius e Fahrenheit, em termômetros iguais. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Comparação entre termômetros iguais graduados nas escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin.

$$\frac{\Delta T_F}{212 - 32} = \frac{\Delta T_C}{100 - 0} \Rightarrow \frac{\Delta T_F}{180} = \frac{\Delta T_C}{100} \Rightarrow \frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_C}{5}$$

Atribuindo o valor de ΔT_C, temos:

$$\frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_C}{5} \Rightarrow \frac{\Delta T_F}{9} = \frac{60}{5} \therefore \Delta T_F = 108\,°F$$

Verificar a solução

Pode-se verificar que as amplitudes são iguais para as duas unidades. Considerando a amplitude térmica na escala Fahrenheit e atribuindo o valor de 108 °F à equação que relaciona as escalas Celsius e Fahrenheit, verifica-se que a amplitude térmica na escala Celsius é:

$$\frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} \Rightarrow \frac{\Delta T_C}{5} = \frac{108}{9} \therefore \Delta T_C = 60\,°C$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Maior, pois a energia cinética é maior.
2. Pontos de ebulição da água e de fusão do gelo. Celsius: 100 °C e 0 °C. Fahrenheit: 212 °F e 32 °F. Kelvin: 373 K e 273 K.
3. –40 °C ou –40 °F

1. A temperatura (*T*) de um corpo é uma medida do grau de agitação das partículas que o compõem. Quanto maior a agitação das partículas, maior ou menor a temperatura do corpo? Explique.

2. Quais são os pontos fixos de referência geralmente considerados para a criação de uma escala termométrica? Identifique os valores numéricos adotados nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

3. Em que temperatura as escalas termométricas Celsius e Fahrenheit fornecem a mesma indicação?

4. Em pesquisa recente, constatou-se que em Marte o comportamento do clima é significativamente determinado pelas severas tempestades de areia provocadas por ventos que arrastam a tênue e rarefeita atmosfera do planeta com velocidades de até 170 km/h. 4. 70 K e 126 °F

Ao longo das estações, a temperatura média do ar na Cratera de Jezero, localizada próximo ao equador de Marte, é cerca de –55 °C, mas varia muito entre o dia e a noite, com diferenças típicas próximas de 70 °C. Determine o valor dessa diferença de temperaturas nas escalas termométricas Kelvin e Fahrenheit.

Gases e a teoria cinética

JAKKAPAN21/GETTY IMAGES

O gás se expande no balão, tomando a sua forma, na situação de equilíbrio.

Os gases são substâncias que não apresentam forma nem volume definidos. As substâncias no estado gasoso dispõem seus átomos ou suas moléculas bem afastadas umas das outras, e isso provoca interações intermoleculares quase nulas. Assim, os gases são expansíveis, ocupando todo o recipiente que os contém, como no caso do gás (geralmente hélio) que infla balões, como os da fotografia.

A **teoria cinética molecular**, postulada pelo físico e matemático suíço Daniel Bernoulli (1700-1782), explica a relação entre o comportamento observado nos gases e o comportamento de cada molécula. Segundo essa teoria, os gases são formados por muitas moléculas que se movimentam erraticamente em todas as direções. Quando o gás está contido em um recipiente, suas moléculas colidem entre si e também com as paredes desse recipiente, o que origina a pressão do gás. A energia cinética das partículas em movimento está relacionada à temperatura do gás: quanto mais quente estiver o gás, maior será a energia cinética de suas moléculas. Quando o volume do recipiente é mantido constante, o aumento da energia cinética das partículas leva ao aumento da pressão do gás.

No período entre 1848 e 1898, a partir das ideias de Bernoulli, os físicos europeus James Joule (1818-1889), Rudolf Clausius (1822-1888), James Maxwell (1831-1879) e Ludwig Boltzmann (1844-1906) desenvolveram a **teoria cinética molecular dos gases ideais**, que se baseia nos seguintes postulados.

1. Os gases consistem em muitas moléculas em movimento contínuo e aleatório.

2. O volume total ocupado pelas moléculas do gás é desprezível quando comparado ao volume do recipiente em que está contido.

3. As forças de atração e repulsão entre os átomos ou as moléculas de um gás são desprezíveis.

4. Todo gás exerce pressão contra as paredes do recipiente em que está contido. Quanto maior for o número de colisões por unidade de área e por unidade de tempo, maior será a pressão.

5. Os choques das moléculas de um gás são perfeitamente elásticos, ou seja, as moléculas chocam-se e retornam com a mesma velocidade, em módulo, sem perder energia nas colisões.

6. A energia cinética média das partículas de um gás é proporcional à temperatura absoluta (em kelvin, K). O aumento da temperatura indica o aumento da rapidez com que as moléculas se movimentam e, por isso, elas possuem maior energia cinética.

Assim, para um gás ideal contido em um recipiente, consideramos um número muito grande de partículas, mas desconsideramos as forças de ligação entre elas. Além disso, supomos que há conservação de energia cinética, pois os choques entre as partículas e as paredes do recipiente são perfeitamente elásticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Apesar de nenhum gás encontrado na natureza se encaixar perfeitamente no modelo de gás ideal, essa aproximação é bastante satisfatória em muitos casos reais, principalmente em condições de altas temperaturas e baixas pressões.

A maior parte dos gases que constituem a atmosfera terrestre tem comportamento muito próximo do modelo de gás ideal.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. **Registre em seu caderno**

EM FOCO Atividades antrópicas e as transformações na atmosfera terrestre

ODS 13 A atmosfera terrestre é uma espécie de escudo que assegura e resguarda as condições de vida na Terra. Ela protege o planeta da incidência de radiações nocivas e do bombardeio de corpos de diversos tamanhos, como pequenos asteroides e até meteoros e corpos ainda maiores que, ao se movimentarem pela atmosfera, são geralmente incinerados e desintegrados pelas forças de atrito. A atmosfera terrestre é composta de diferentes moléculas, como nitrogênio (N_2), gás oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e vapor de água (H_2O), que também ajudam a impedir a chegada de radiações com comprimentos de onda distintos até as camadas atmosféricas mais próximas da superfície terrestre.

Desde sua formação, a atmosfera terrestre tem sofrido modificações. A atmosfera primitiva, por exemplo, tinha uma composição rica em metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), nitrogênio (N_2) e amônia (NH_3), além de quantidades significativas de sulfetos e cianetos, elementos considerados tóxicos. Além disso, não havia gás oxigênio (O_2), o que impedia o desenvolvimento da vida como conhecemos. No entanto, com o aumento do volume de água líquida na superfície do planeta e o surgimento das cianobactérias, há cerca de 3,5 bilhões de anos, gás oxigênio passou a ser liberado (graças à fotossíntese realizada por esses seres) e a atmosfera foi se modificando.

Mais recentemente, a atmosfera terrestre passou a ser fortemente impactada pela intensificação de algumas atividades antrópicas, ou seja, de ações exercidas pelo ser humano, principalmente as relacionadas ao aumento de emissões de gases que se concentram na atmosfera, modificando rapidamente sua composição. Desde o início da Segunda Revolução Industrial, na segunda metade do século XIX, a emissão de gases na atmosfera avançou muito mais rapidamente do que a capacidade de adaptação do planeta Terra.

DEN-BELITSKY/GETTY IMAGES

Emissão de gases decorrente da queima de combustíveis fósseis em atividades realizadas na indústria metalúrgica (Ucrânia, 2016).

Entre as atividades que liberam gases na atmosfera, podemos destacar a queima direta de combustíveis fósseis, a geração de energia elétrica por fontes que utilizam carvão e derivados de petróleo, atividades industriais e de transporte, o desmatamento e as queimadas não controladas. Todas essas ações aumentam a concentração de gases como o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, que absorvem parte da radiação solar e a retêm na atmosfera terrestre, intensificando o efeito estufa.

Como resultado da intensificação dessas atividades, o planeta está passando por mudanças que atingem diretamente a vida, como o aumento da ocorrência de eventos extremos, por exemplo, o derretimento das geleiras nos polos e o consequente aumento dos níveis dos oceanos, as secas prolongadas em algumas regiões e o excesso de precipitação em outras.

Atualmente, muitas iniciativas propõem a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera com o objetivo de mitigar as mudanças climáticas. Entre elas, podemos destacar o incentivo para o uso de fontes renováveis e limpas de energia, reflorestamento de áreas degradadas e redução da queima de combustíveis fósseis.

1. Proteger contra radiações nocivas e corpos que bombardeiam a Terra, regular a temperatura do planeta e distribuir a água em circulação.

1. Quais são as principais funções da atmosfera terrestre?
2. A composição química da atmosfera terrestre é a mesma desde a formação do planeta Terra há cerca de 4,5 bilhões de anos? Explique.
3. Quais foram as principais causas da intensificação da emissão de gases de efeito estufa após o início da Segunda Revolução Industrial?
4. De que forma as mudanças na composição da atmosfera terrestre impactam a vida da população?
5. Quais medidas podem ser tomadas para mitigar a mudança global do clima? Em grupo com dois colegas, pesquisem ações individuais e governamentais para mitigar as alterações climáticas e seus impactos.

5. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre as ações que eles podem tomar, sobre como as ações individuais são importantes, e que conheçam as ações propostas pelos governos.

2. Espera-se que os estudantes analisem como a temperatura do planeta Terra vem mudando ao longo do tempo.
3. Queima de combustíveis fósseis, atividades industriais e de transporte e aumento do desmatamento, entre outras.
4. Espera-se que os estudantes reflitam sobre a relação entre as mudanças na composição da atmosfera e o aumento da ocorrência de eventos extremos, por exemplo, que afetam diretamente a população.

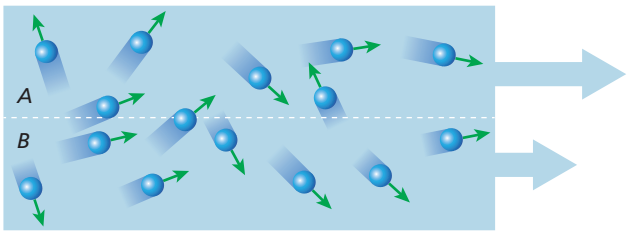
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Propriedades gerais dos gases

Os gases apresentam propriedades físicas que os distinguem dos sólidos e dos líquidos. Muitas dessas propriedades podem ser explicadas com o auxílio da teoria cinética molecular.

Os gases, muito mais do que os líquidos, escoam com grande facilidade. Esse escoamento pode ser entendido como resultado da movimentação de várias camadas paralelamente em uma mesma direção. No entanto, as camadas não têm necessariamente a mesma intensidade de velocidade; assim, em razão do movimento aleatório das moléculas que formam o gás, moléculas da camada mais lenta podem passar à camada mais rápida e vice-versa, modificando suas velocidades, conforme a representação a seguir.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de duas camadas, *A* e *B*, de um mesmo gás que se movimentam na mesma direção; porém, o movimento da camada *A* é mais rápido. O módulo da velocidade das moléculas está indicado pelo comprimento do rastro representado; quanto maior o rastro, maior a velocidade. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A modificação nas intensidades das velocidades gera resistência ao escoamento do gás. A **viscosidade** é a resistência de movimento que uma camada imprime sobre a outra. Quanto maior for a temperatura do gás, maior será sua viscosidade, já que o movimento aleatório das moléculas se intensifica.

Outra propriedade dos gases é a **difusibilidade**. Eles difundem-se, ou seja, espalham-se e misturam-se com facilidade a outros gases. O movimento aleatório das moléculas promove gradativamente sua distribuição pelo sistema, até resultar em uma mistura homogênea. Um caso particular da difusão é o processo de efusão, no qual um gás escapa por pequenos poros presentes no material do recipiente que o contém. Por exemplo, durante nossa respiração, a transferência de O_2 e CO_2 para dentro e para fora do sangue é controlada pela difusão. A difusão no tecido é cerca de 10.000 vezes mais lenta que no ar; entretanto, a espessura do tecido pelo qual a molécula deve difundir-se nos pulmões é muito pequena e, assim, a molécula leva menos que 1 segundo para atravessar o tecido.

Gases e suas variáveis de estado

Vamos considerar a seguinte situação: uma panela de pressão com apenas ar em seu interior é fechada e colocada sobre a chama de um fogão. O calor transferido para o gás no interior da panela será transformado em energia térmica, isto é, as moléculas vão adquirir maior energia cinética, o que provocará maior agitação em decorrência do aumento da temperatura. Como o volume do gás se mantém constante, aumentarão a velocidade média das moléculas do gás no interior da panela e a frequência de choques nas paredes do recipiente, o que implicará aumento da pressão interna do gás. Em algum momento, a estrutura da panela não vai mais suportar a pressão, a válvula de segurança da tampa se levantará e parte do gás escapará.

OBJETO DIGITAL
Carrossel de imagens: Gases em situações de emergência

JUNIOR ROZZO/ARQUIVO DA EDITORA

O gás dentro da panela de pressão tem determinado valor de pressão, volume e temperatura.

Panelas de pressão devem ser manuseadas com cuidado, de acordo com as recomendações de segurança, para evitar acidentes. Não tente reproduzir a situação descrita.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse exemplo nos ajuda a entender que o comportamento e as propriedades de certa massa gasosa podem ser descritos considerando-se três grandezas físicas fundamentais: pressão (p), volume (V) e temperatura (T). Essas três grandezas são chamadas de **variáveis de estado**. Portanto, a situação em que se encontra um gás pode ser definida considerando-se um valor de pressão, um de volume e um de temperatura.

A **pressão** relaciona-se com o número de colisões das moléculas do gás. Indica a intensidade da força normal que o gás exerce sobre uma unidade de área. Quanto maior for o número de moléculas no recipiente, maiores serão a massa e a pressão nas paredes. O aumento da temperatura geralmente eleva a pressão; isso significa que a pressão depende da massa e da temperatura. A unidade de pressão no SI é o pascal (Pa), embora outras unidades de medida também sejam utilizadas, como bar, atmosfera (atm) e torricelli (torr). O quadro a seguir apresenta algumas conversões entre essas unidades de medida de pressão.

Conversões entre unidades de medida de pressão	
1 bar	100.000 Pa
1 atm	101.325 Pa
1 atm	1,013 bar
1 torr	133,322 Pa
1 atm	760 torr

O **volume** é a variável que estabelece o espaço ocupado pelo gás. O volume de um gás é igual ao volume do recipiente que o contém e é medido pelas unidades comuns de volume, em geral, metro cúbico (m^3) e litro (L).

Por fim, conforme estudamos anteriormente, a **temperatura** é a variável que faz referência à energia cinética das moléculas de um gás. A temperatura absoluta (em kelvin, K) é diretamente proporcional à energia cinética média das moléculas que constituem o gás e depende da velocidade com que elas se movimentam. Assim, a temperatura absoluta é zero quando a velocidade das moléculas é zero.

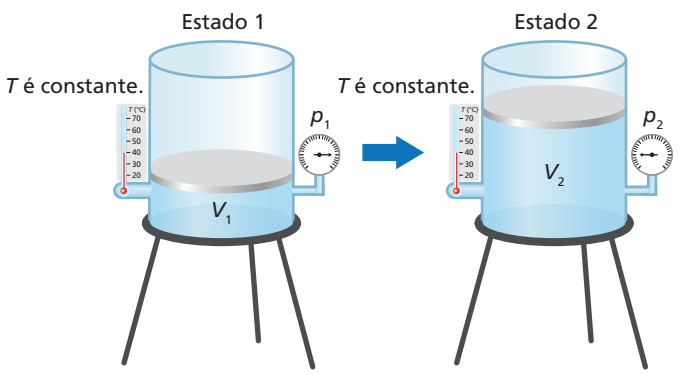
A teoria cinética dos gases ideais é mais precisa quando aplicada a gases a pressões muito baixas e considerando moléculas que não interagem entre si. Apesar disso, o modelo cinético molecular é bastante útil para compreender o comportamento dos gases reais e consiste em uma boa aproximação para as situações que estudaremos a seguir.

Transformações gasosas

Vimos que um gás pode ser caracterizado pelas três variáveis de estado: pressão, volume e temperatura. Quando pelo menos uma delas varia, dizemos que o gás passou por uma **transformação**. Para entender como essas variáveis de estado se relacionam, os cientistas realizam experimentos em sistemas fechados, isto é, em que não há troca de massa com o ambiente externo. Em geral, estuda-se a mudança de duas variáveis de estado enquanto se mantém a terceira constante. Assim, com base na variável de estado mantida constante, as transformações gasosas podem ser denominadas **isotérmicas**, **isobáricas** ou **isovolumétricas**.

Transformação isotérmica

No final do século XVII, o químico irlandês Robert Boyle (1627-1691) observou que a pressão e o volume de certa massa de um gás ideal variavam de modo inversamente proporcional quando a temperatura era mantida constante. Esse tipo de transformação é chamado **transformação isotérmica**.

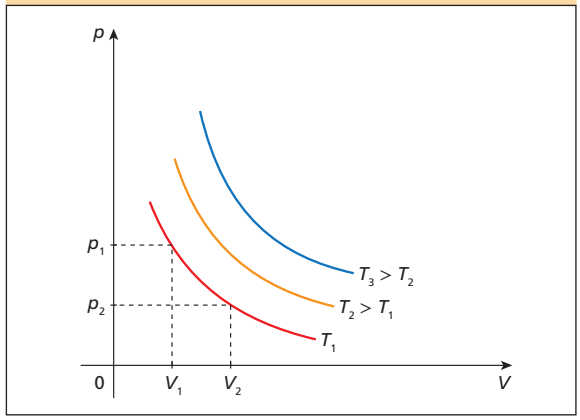


Representação esquemática de uma transformação isotérmica em que um agente externo elevou o êmbolo muito lentamente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Gráfico de $p \times V$ para transformações isotérmicas



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da pressão (p) em função do volume (V) para três transformações isotérmicas. Sobre cada uma das curvas, a temperatura se mantém a mesma.

Assim, podemos considerar que o produto entre a pressão (p) e o volume (V) é constante, isto é: $p \cdot V$ é constante.

Por isso, considerando-se dois estados, 1 e 2, durante uma transformação isotérmica, também temos:

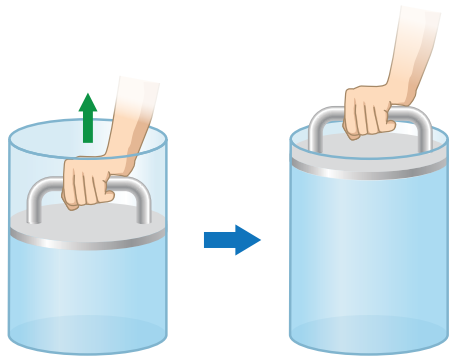
$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Esse resultado ficou conhecido como **lei de Boyle-Mariotte**, que pode ser enunciada da seguinte maneira: mantida à temperatura constante, certa massa de gás ideal sofre uma transformação isotérmica quando sua pressão e seu volume variam de modo inversamente proporcional.

Por meio de um gráfico da pressão em função do volume, podemos representar a transformação isotérmica. As curvas do gráfico são chamadas de **isotermas** e correspondem a uma parte de uma hipérbole equilátera, sendo que, sobre elas, a temperatura é sempre a mesma.

Exemplo

Vamos supor que uma pessoa puxe lentamente o êmbolo de um cilindro que contém certa massa de gás ideal, como mostra a figura a seguir.



Representação de uma expansão isotérmica ao se puxar o êmbolo de um cilindro.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A variação da pressão em função do volume é descrita pelo gráfico hiperbólico representado a seguir.

Aplicando a lei de Boyle-Mariotte, determine o volume ocupado pelo gás nesse experimento quando a pressão é igual a 3,0 atm.

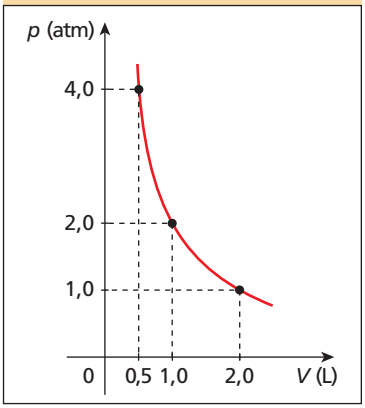
Da lei de Boyle-Mariotte, para dois estados, 1 e 2, durante uma transformação isotérmica, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Assim, para determinar o volume V_2 ocupado pelo gás quando a pressão é $p_2 = 3{,}0$ atm, podemos considerar um ponto do gráfico com volume e pressão conhecidos para o estado 1, por exemplo, o ponto em que $p_1 = 4{,}0$ atm e $V_1 = 0{,}5$ L.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow 4{,}0 \text{ atm} \cdot 0{,}5 \text{ L} = 3{,}0 \text{ atm} \cdot V_2 \therefore V_2 \simeq 0{,}7 \text{ L}$$

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação isotérmica



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da pressão (p) em função do volume (V) para uma transformação isotérmica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

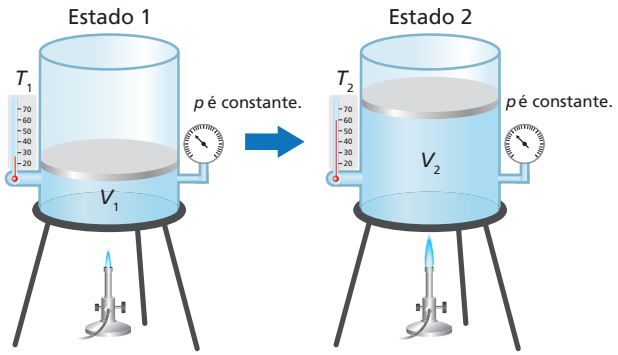
Transformação isobárica

Com base em seus estudos, o físico francês Jacques Charles (1746-1823) formulou a lei que sintetiza a relação de dependência entre o volume e a temperatura nas transformações gasosas que ocorrem à pressão constante, chamadas de **transformações isobáricas**. A lei foi confirmada experimentalmente pelo físico e químico francês Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850), no início do século XIX.

Charles e Gay-Lussac verificaram que o volume ocupado por um gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta quando a pressão se mantém constante. Nesse caso, o quociente entre o volume e a temperatura absoluta se mantém inalterado, $\frac{V}{T}$ é constante.

Por isso, considerando-se dois estados, 1 e 2, durante uma transformação isobárica, temos:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

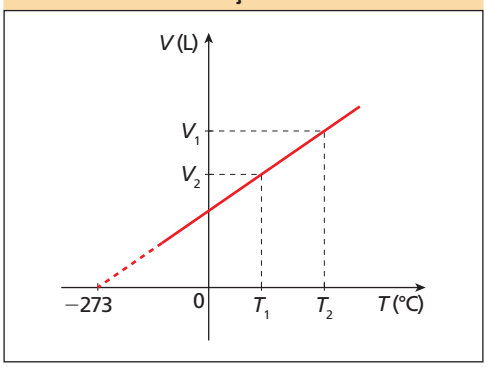
Representação esquemática de uma transformação isobárica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Esse resultado é conhecido como **primeira lei de Charles e Gay-Lussac** e pode ser enunciado como: mantida à pressão constante, certa massa de gás ideal sofre uma transformação isobárica quando seu volume e temperatura variam de forma diretamente proporcional.

No gráfico do volume em função da temperatura, as transformações isobáricas são representadas por retas oblíquas.

Além disso, é possível definir o valor da temperatura equivalente a um volume nulo da massa gasosa, ou seja, é possível extrapolar o experimento para um caso particular em que não há nenhuma agitação molecular. Extrapolando a reta, esse valor equivale a –273,15 °C, que corresponde ao zero absoluto na escala Kelvin.

Gráfico de $V \times T$ para uma transformação isobárica



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico do volume (V) em função da temperatura (T) para uma transformação isobárica.

Exemplo

Considere um experimento envolvendo uma expansão isobárica que gerou dados que permitiram construir o gráfico a seguir.

Aplicando a primeira lei de Charles e Gay-Lussac, calcule o volume ocupado pelo gás a 400 K.

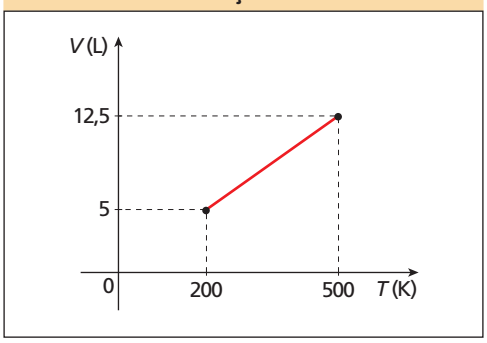
Da primeira lei de Charles e Gay-Lussac, para dois estados, 1 e 2, durante uma transformação isobárica, temos:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Assim, para determinar o volume V_2 ocupado pelo gás quando a temperatura é $T_2 = 400$ K, podemos considerar um ponto do gráfico com volume e temperatura conhecidos para o estado 1, por exemplo, o ponto em que $V_1 = 5$ L e $T_1 = 200$ K.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{5\text{ L}}{200\text{ K}} = \frac{V_2}{400\text{ K}} \therefore V_2 = 10\text{ L}$$

Gráfico de $V \times T$ para uma transformação isobárica



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

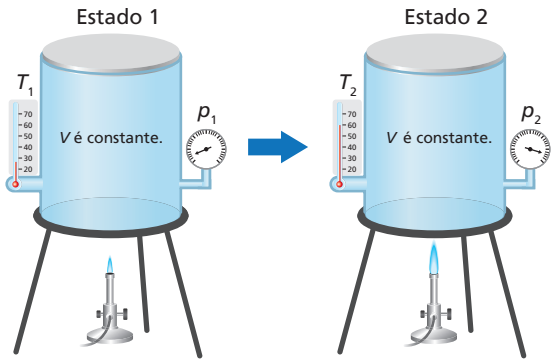
Gráfico do volume (V) em função da temperatura (T) para uma transformação isobárica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Transformação isovolumétrica, isométrica ou isocórica

Além de investigarem a transformação isobárica, Charles e Gay-Lussac constataram que, com volume constante, a pressão de um gás ideal é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de uma transformação isovolumétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Assim, em volume constante, podemos afirmar que o quociente entre a pressão e a temperatura absoluta é constante, $\frac{p}{T}$ é constante.

Por isso, considerando dois estados, 1 e 2, durante uma transformação isovolumétrica, também temos:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Esse resultado é conhecido como **segunda lei de Charles e Gay-Lussac**, ou simplesmente **lei de Charles**, que pode ser enunciada como: mantida em volume constante, certa massa de gás ideal sofre uma transformação isovolumétrica quando sua pressão e temperatura variam de forma diretamente proporcional.

Nas transformações isovolumétricas, os gráficos da pressão em função da temperatura resultam em retas oblíquas.

De maneira análoga ao que foi feito para a transformação isobárica, é possível extrapolar a reta que representa a transformação isovolumétrica para obter o zero absoluto, admitindo-se que, para uma pressão nula, não há movimento das partículas do gás.

Gráfico de $p \times T$ para uma transformação isovolumétrica

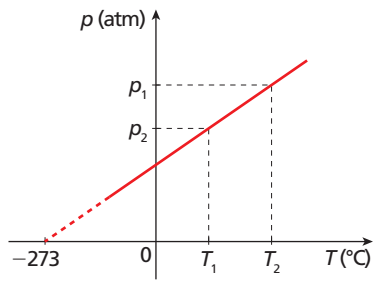


Gráfico da pressão (p) em função da temperatura (T) para uma transformação isovolumétrica.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considere que a pressão no interior do pneu indeformável de uma bicicleta varie conforme o gráfico a seguir. Trata-se de uma transformação isovolumétrica e a pressão é diretamente proporcional à temperatura absoluta.

Aplicando a lei de Charles para a situação descrita, determine os valores de p_1 e T_2.

Com base nos dados do gráfico e aplicando a lei de Charles, para dois estados, 1 e 2, temos:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{300\ \text{K}} = \frac{3{,}00\ \text{atm}}{306\ \text{K}} \therefore p_1 \simeq 2{,}94\ \text{atm}$$

Do mesmo modo, com base nos dados do gráfico, podemos determinar T_2; assim:

$$\frac{2{,}97\ \text{atm}}{T_2} = \frac{3{,}00\ \text{atm}}{306\ \text{K}} \therefore T_2 \simeq 303\ \text{K}$$

Gráfico de $p \times T$ para uma transformação isovolumétrica

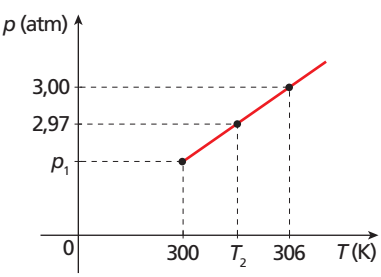


Gráfico da pressão (p) em função da temperatura (T) para a transformação isovolumétrica no interior do pneu. (Imagem sem escala.)

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. De acordo com a teoria cinética molecular dos gases ideais, qual é a relação entre a energia cinética média das partículas que compõem um gás e a temperatura absoluta desse gás?
5. Maior energia cinética média, maior temperatura absoluta.

6. Se a pressão de um gás aumentar 10% em uma transformação isotérmica, seu volume aumentará ou diminuirá? Qual será o percentual dessa variação? 6. Diminuirá 9,09%

7. Suponha que determinada massa de gás ideal seja aquecida dentro de um cilindro de eixo vertical dotado de um êmbolo móvel de massa desprezível, que pode se deslocar sem atrito com as paredes do cilindro. Com o aquecimento do sistema, o êmbolo vai se deslocar para cima ou para baixo? O que ocorrerá com a pressão do gás? 7. Para cima. A pressão permanecerá constante.

8. Considere uma transformação gasosa a volume constante. Descreva o que acontece com a pressão do gás quando:

a. a temperatura do gás aumentar; 8. a. Aumentará.

b. a temperatura do gás diminuir. 8. b. Diminuirá.

Equação de estado de um gás ideal ou equação de Clapeyron

Há situações em que nenhuma das três variáveis de estado é constante, ou seja, elas variam simultaneamente. Para essas situações, o físico e engenheiro francês Benoît Paul-Émile Clapeyron (1799-1864) obteve uma relação geral entre pressão, volume e temperatura de uma massa de gás ideal tal que seu número de mols seja n. Conhecida como **equação de estado de um gás ideal** ou **equação de Clapeyron**, ela pode ser descrita algebricamente por:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Em que R é uma constante de proporcionalidade, denominada **constante universal dos gases**. Essa constante pode ser determinada considerando-se 1 mol de um gás ideal em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), que correspondem aos valores: 1 atm para a pressão (p), 22,414 L para o volume (V) e 273,15 K para a temperatura (T). Substituindo esses valores na equação de estado, temos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 1\ \text{atm} \cdot 22{,}414\ \text{L} = 1\ \text{mol} \cdot R \cdot 273{,}15\ \text{K}$$

Isolando R na equação, temos:

$$R = \frac{22{,}414\ \text{atm} \cdot \text{L}}{273{,}15\ \text{mol} \cdot \text{K}} \therefore R = 0{,}0820574\ \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Expressando em unidades de medida do SI:

$$R \simeq 8{,}31\ \text{J/(mol} \cdot \text{K)}$$

O **mol** é a unidade de medida do SI para a grandeza quantidade de matéria. Um mol contém exatamente $6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ entidades químicas (átomos, moléculas, íons, partículas elementares etc.). Esse número é o valor fixado da constante de Avogadro.

Exemplo 1

Se pegarmos um copo de 200 mL (sem nenhum líquido dentro) e colocarmos a mão sobre ele, conforme representado na fotografia, podemos calcular o número de mols de ar dentro desse copo. Vamos considerar que a temperatura ambiente seja de 25 °C e a pressão seja de 1 atm.

Para calcularmos o número de mols, podemos usar a equação de Clapeyron. Considerando $T_K = T_C + 273{,}15$, temos:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow$

$\Rightarrow 1\ \text{atm} \cdot 0{,}2\ \text{L} = n \cdot 0{,}0820574\ \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (25 + 273{,}15)\ \text{K}$

$\therefore n \simeq 0{,}0082\ \text{mol}$

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

Podemos usar a equação de Clapeyron para calcular o número de mols de ar que há no copo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo 2

Antes de submergir na água em um mergulho livre, ou seja, sem o uso de equipamentos de respiração, uma mergulhadora inspira profundamente inflando seus pulmões com um volume de ar de 6,0 L.

NARTT/SHUTTERSTOCK

Mergulhadora durante mergulho livre, conhecido como mergulho em apneia.

Adotando-se a temperatura do corpo da mergulhadora igual a 37,0 °C e supondo-se que a pressão do ar dentro de seus pulmões antes do mergulho é igual à pressão atmosférica de 1,0 atm, determine o número de mols de ar dentro dos pulmões dessa mergulhadora. Adote a constante universal dos gases perfeitos igual a 0,082 $\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ e considere que o ar dentro dos pulmões da mergulhadora se comporta como um gás ideal.

Aplicando-se a equação de Clapeyron, vem:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 1\ \text{atm} \cdot 6{,}0\ \text{L} = n \cdot 0{,}082\ \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (37{,}0 + 273{,}15)\ \text{K} \therefore n \simeq 0{,}2\ \text{mol}$$

É importante notar que o número de mols, n, pode ser obtido dividindo-se, nas mesmas unidades de medida, a massa considerada de gás, m, pela massa molar, M.

$$n = \frac{m}{M}$$

Assim, a equação de Clapeyron também pode ser expressa matematicamente por:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

Lei geral dos gases ideais

Com base na equação de estado de um gás ideal, podemos obter uma lei geral que relaciona diferentes estados de uma mesma porção de massa de um gás ideal.

Vamos considerar uma porção de massa em estado gasoso com n mols, pressão p_1, volume V_1 e temperatura absoluta T_1, e que ocorra uma transformação gasosa de modo que esse gás atinja um novo estado e fique submetido a uma pressão p_2, a um volume V_2 e a uma temperatura absoluta T_2. Aplicando-se a equação de Clapeyron nos dois estados e considerando-se que o número de mols não se altere, temos:

$$\begin{cases} p_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1 \quad (1) \\ p_2 \cdot V_2 = n \cdot R \cdot T_2 \quad (2) \end{cases}$$

Dividindo-se (1) por (2), temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{p_2 \cdot V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

A razão obtida na expressão, considerando-se a mesma massa de gás para dois estados diferentes, é uma constante. Essa expressão é conhecida como **lei geral dos gases ideais** ou **perfeitos**.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considere que certa amostra de gás, contida em um recipiente de 500 L, à pressão de 0,8 atm e à temperatura de 283 K, sofra uma transformação gasosa na qual adquire pressão de 1 atm e temperatura de 298 K. Determine o volume final obtido aplicando a lei geral dos gases ideais.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1\text{ atm} \cdot 500\text{ L}}{298\text{ K}} = \frac{0{,}8\text{ atm} \cdot V_2}{283\text{ K}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 \cdot 0{,}8\text{ atm} \cdot 298\text{ K} = 500\text{ L} \cdot 1\text{ atm} \cdot 283\text{ K} \Rightarrow 238{,}4 \cdot V_2 = 141.500\text{ L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{141.500\text{ L}}{238{,}4} \therefore V_2 \simeq 594\text{ L}$$

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

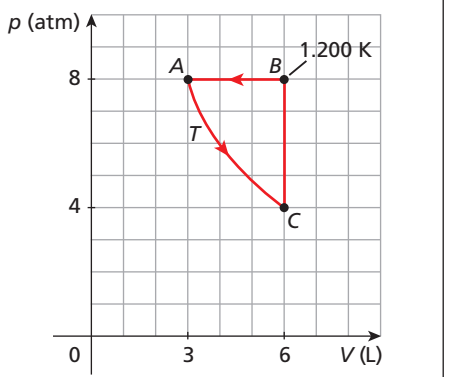
9. Escreva a equação de Clapeyron e identifique cada um dos fatores presentes nessa equação.

10. Qual é o significado da constante *R* que aparece na equação de Clapeyron e como seu valor numérico pode ser determinado?

11. O que ocorre com o volume de um gás quando sua pressão é triplicada e sua temperatura absoluta é quadruplicada? 11. $V_2 = \frac{4}{3} \cdot V_1$

12. O gráfico da pressão (*p*) em função do volume (*V*) ilustra duas transformações gasosas: *BA* e *AC*. O trecho *AC* corresponde a um arco de hipérbole equilátera.

Gráfico de $p \times V$



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da pressão (*p*) em função do volume (*V*) para as transformações gasosas *BA* e *AC* de determinada massa de gás ideal.

Classifique as transformações gasosas em cada segmento e informe os valores da pressão, do volume e da temperatura em cada ponto indicado (*A*, *B* e *C*).

9. $pV = nRT$, em ordem: pressão, volume, número de mols, constante universal dos gases, temperatura.

10. Constante universal dos gases. Pode ser determinada considerando-se 1 mol de um gás ideal em CNTP.

12. *BA* é isobárica. *AC* é isotérmica. Os valores de pressão, temperatura e volume podem ser lidos diretamente do gráfico.

Fique por dentro

Propriedades dos gases

MALLEY, C. *et al*. Propriedade dos gases. ***Phet* Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 17 set. 2024.

Nesse *site* é possível simular transformações isotérmicas e isovolumétricas em uma pequena quantidade de gás que ocupa um recipiente e aprofundar o estudo das propriedades dos gases.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

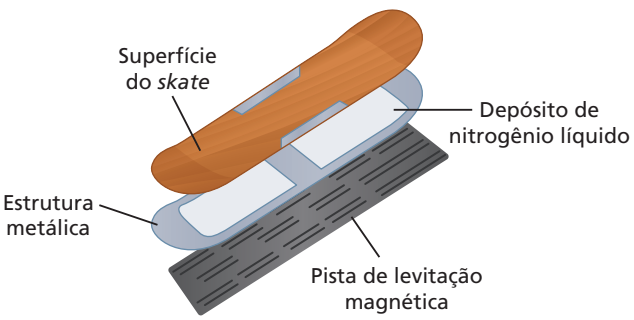
ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. [...]
O *Slide*, nome dado ao *skate* voador futurista, usa levitação magnética para se manter longe do chão e ainda ser capaz de carregar o peso de uma pessoa. É o mesmo princípio utilizado, por exemplo, pelos trens ultrarrápidos japoneses. [...] Para operar, o *Slide* deve ter sua estrutura metálica interna resfriada a temperaturas baixíssimas, alcançadas com nitrogênio líquido. Daí a "fumaça" que se vê [em algumas] imagens, que, na verdade, é a substância se tornando gás novamente devido à temperatura ambiente – para ficar no estado líquido, ela deve ficar a quase −200 graus Celsius. Então, quando o nitrogênio acaba, o *skate* para de "voar". [...]

Fonte: COMO funciona o *skate* voador inspirado no filme *De volta para o futuro 2*. **Techtudo**, [*S. l.*], jul. 2015. Disponível em: https://www.techtudo.com.br/noticias/2015/07/como-funciona-o-skate-voador-inspirado-no-filme-de-volta-para-o-futuro-2.ghtml. Acesso em: 17 set. 2024.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

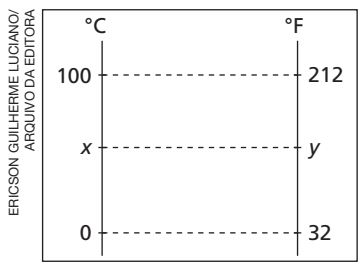


Representação do *skate Slide*. O equipamento foi desenvolvido para demonstração em 2015 e não ficou disponível para venda.

Com base nas informações do texto, determine, nas escalas Fahrenheit e Kelvin, o valor da temperatura à qual o nitrogênio deve ser mantido para permanecer no estado líquido e resfriar a estrutura metálica interna do *Slide*.
1. –328 °F ou ≃ 73 K

2. Comparando as medidas de temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit nota-se que, enquanto na primeira escala a temperatura de ebulição da água é de 100 °C, na segunda escala a água passa para o estado gasoso em 212 °F. Já a fusão da água ocorre em 0 °C, na escala Celsius, e a respectiva temperatura na escala Fahrenheit é 32 °F.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

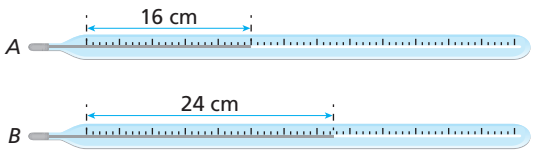


Representação esquemática da relação entre os pontos fixos de referência das escalas termométricas Celsius e Fahrenheit.

Qual é a temperatura na escala Celsius (x) cujo valor correspondente na escala Fahrenheit (y) é dado por um número igual ao dobro daquele da escala Celsius ($y = 2x$)? 2. 160 °C

3. Em um experimento no laboratório, um professor pediu aos estudantes que analisassem as variações de temperatura em relação ao comprimento da coluna de mercúrio no interior de dois termômetros, *A* e *B*. Sabendo que o mercúrio é sensível ao calor e a temperatura marcada no termômetro é proporcional ao deslocamento do fluido no tubo, qual é a temperatura no termômetro *A*, em grau Celsius, sabendo que o termômetro *B* marca 48 °C? 3. 32 °C

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação dos termômetros de mercúrio *A* e *B*.

4. Um estudante criou uma escala termométrica X em que a temperatura (T_X) podia ser relacionada à temperatura na escala Celsius (T_C), conforme o gráfico a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

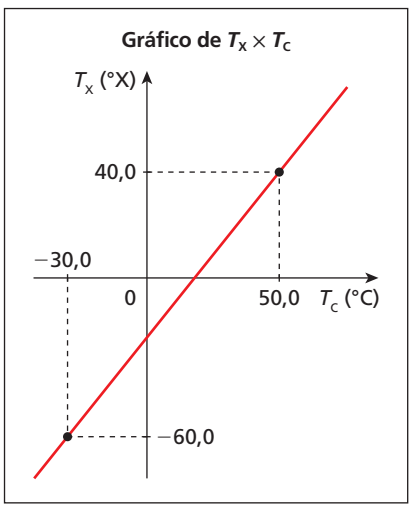


Gráfico da temperatura na escala X (T_X) em função da temperatura na escala Celsius (T_C).

Em um dia em que se registrou na escala termométrica Fahrenheit o valor 68,0 °F para a temperatura de um sistema, qual valor de temperatura o estudante obteve em sua escala X? 4. Alternativa **e**.

a. 34,0 °X
b. 22,6 °X
c. 18,4 °X
d. 13,7 °X
e. 2,5 °X

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Especialmente em regiões de altas latitudes no hemisfério Norte, aproximadamente entre 45 e 90 graus ao Norte, o inverno pode ser muito rigoroso, registrando-se temperaturas muito baixas. Por isso, alguns animais hibernam, passando no interior de tocas e cavernas um bom tempo sem beber, comer, urinar e defecar. No caso dos ursos-negros, esse período varia entre cinco e sete meses por ano. Segundo uma pesquisa da Universidade do Alasca, nos Estados Unidos, divulgada recentemente, o metabolismo dessa espécie fica reduzido a 25% de sua capacidade, a temperatura do corpo baixa em média 6 °C e a frequência cardíaca cai de 55 para apenas 9 batimentos por minuto. Trata-se, portanto, de um verdadeiro estado de letargia.

PAUL SOUDERS/GETTY IMAGES

Na fase adulta, um urso-negro norte-americano (*Ursus americanus*) pode ter comprimento de 2,20 m por 1,10 m de altura e massa de 360 kg.

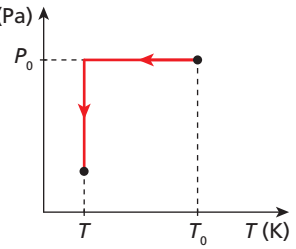
Com base nas informações do texto, defina-se R como o módulo da relação entre o módulo do abaixamento da temperatura do urso-negro quando entra em hibernação, na escala Fahrenheit, e a mínima frequência cardíaca verificada no animal nessa fase de dormência, em batimentos por segundo. Assim, é correto que: 5. Alternativa **d**.

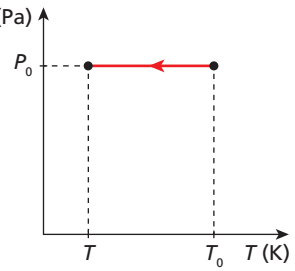
a. $R = 4{,}8\ °F \cdot s$
b. $R = 36{,}0\ °F \cdot s$
c. $R = 60{,}0\ °F \cdot s$
d. $R = 72{,}0\ °F \cdot s$
e. $R = 84{,}0\ °F \cdot s$

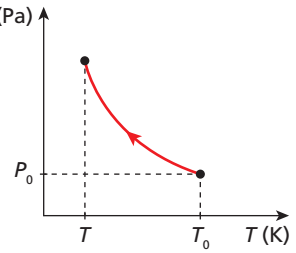
6. (EsPCEx-SP) Para um gás ideal ou perfeito temos que:

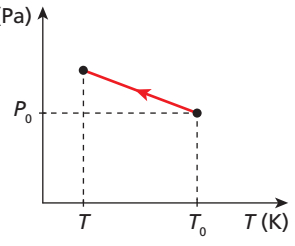
a. as suas moléculas não exercem força uma sobre as outras, exceto quando colidem. 6. Alternativa **a**.
b. as suas moléculas têm dimensões consideráveis em comparação com os espaços vazios entre elas.
c. mantido o seu volume constante, a sua pressão e a sua temperatura absoluta são inversamente proporcionais.
d. a sua pressão e o seu volume, quando mantida a temperatura constante, são diretamente proporcionais.
e. sob pressão constante, o seu volume e a sua temperatura absoluta são inversamente proporcionais.

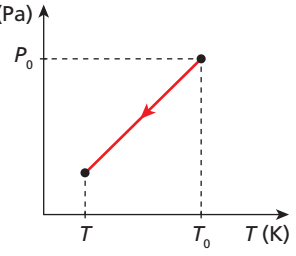
7. (Enem) O manual de um automóvel alerta sobre os cuidados em relação à pressão do ar no interior dos pneus. Recomenda-se que a pressão seja verificada com os pneus frios (à temperatura ambiente). Um motorista desatento a essa informação, realizou uma viagem longa sobre o asfalto quente e, em seguida, verificou que a pressão P_0 no interior dos pneus não era a recomendada pelo fabricante. Na ocasião, a temperatura dos pneus era T_0. Após um longo período de repouso, os pneus do carro atingiram a temperatura ambiente T. Durante o resfriamento, não há alteração no volume dos pneus e na quantidade de ar no seu interior. Considere o ar dos pneus um gás perfeito (também denominado gás ideal). Durante o processo de resfriamento, os valores de pressão em relação à temperatura ($P \times T$) são representados pelo gráfico: 7. Alternativa **e**.

a.


b.


c.


d.


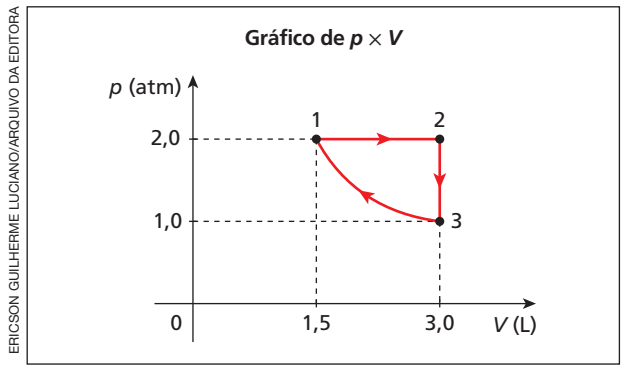
e.


ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

8. Determinada massa de gás perfeito confinada dentro de um cilindro hermeticamente fechado é submetida ao ciclo 1 → 2 → 3 → 1 indicado no gráfico $p \times V$ a seguir, em que o trecho 3 → 1 pode ser considerado um arco de hipérbole equilátera.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráfico da pressão (p) em função do volume (V) para a massa de gás perfeito confinada dentro de um cilindro hermeticamente fechado.

8. a. 1 → 2: isobárica; 2 → 3: isométrica e 3 → 1: isotérmica

Sabendo-se que a temperatura absoluta do gás no ponto 1 do ciclo é igual a 400 K, faça o que se pede.

a. Classifique as transformações 1 → 2, 2 → 3 e 3 → 1 como isotérmica, isobárica ou isométrica.

b. Calcule as temperaturas absolutas do gás nos pontos 2 e 3. 8. b. $T_2 = 800$ K; $T_3 = T_1 = 400$ K

9. Certo gás considerado ideal ocupa um volume de 35 L sob pressão de 2 atm e temperatura de 25 °C. Adotando para a constante universal dos gases perfeitos o valor $R = 0{,}082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$, determine os valores aproximados:

a. do número n de mols do gás; 9. a. $n = 2{,}86$ mol

b. da massa do gás, sendo sua massa molar $M = 28$ g/mol; 9. b. $m = 80$ g

c. do volume de 1 mol (volume molar) desse gás nas condições de pressão e temperatura consideradas.

9. c. $V = 12{,}2$ L

10. Certo gás ocupa o volume de 6.000 cm^3 quando sua temperatura é de 20 °C e sua pressão é de 0,5 atm. Qual será o volume desse gás se a pressão for reduzida a 0,25 atm e a temperatura alterada para 450 K? 10. $V_2 = 18.430$ cm^3

11. Uma menina encheu uma bexiga com ar, tornando-a aproximadamente esférica. Inicialmente, o ar contido nessa bexiga estava a 7 °C e o balão tinha raio R. No final do processo, verificou-se que o ar contido na bexiga atingiu a temperatura de 17 °C e o balão assumiu raio $2R$. Considere que o volume de uma esfera de raio R é $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

Se no enchimento da bexiga a pressão do ar contido nela aumentou 45%, pode-se afirmar que a quantidade de matéria dentro do balão: 11. Alternativa **d**.

a. triplicou.

b. foi multiplicada por 6,8.

c. decuplicou.

d. foi multiplicada por 11,2.

e. foi multiplicada por 13,6.

12. (Enem) De acordo com a Constituição Federal, é competência dos municípios o gerenciamento dos serviços de limpeza e coleta dos resíduos urbanos (lixo). No entanto, há relatos de que parte desses lixos acaba sendo incinerado, liberando substâncias tóxicas para o ambiente e causando acidentes por explosões, principalmente quando ocorre a incineração de frascos de aerossóis (por exemplo: desodorantes, inseticidas e repelentes). A temperatura elevada provoca a vaporização de todo o conteúdo dentro desse tipo de frasco, aumentando a pressão em seu interior até culminar na explosão da embalagem.

Fonte: ZVEIBIL V. Z. *et al.* **Cartilha de limpeza urbana**. Disponível em: https://www.ibam.org.br/wp-content/uploads/2023/06/cartilha_limpeza_urb.pdf. Acesso em: 21 set. 2024.

Suponha um frasco metálico de um aerossol de capacidade igual a 100 mL, contendo 0,1 mol de produtos gasosos à temperatura de 650 °C, no momento da explosão. Considere: $R = 0{,}082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$. A pressão, em atm, dentro do frasco, no momento da explosão, é mais próxima de: 12. Alternativa **c**.

a. 756

b. 533

c. 76

d. 53

e. 13

13. O futebol é uma modalidade esportiva popular em muitos países. A bola para a prática profissional desse esporte, no entanto, deve obedecer a parâmetros rígidos. Segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), uma bola oficial deve ter diâmetro interno próximo de 20,0 cm, massa entre 410,0 g e 450,0 g, exigindo pressões que variam de 0,6 a 1,1 atmosferas (atm) no preenchimento com ar a volume praticamente constante.

Com base nos parâmetros do Inmetro para uma bola de futebol oficial, considerando a área da superfície esférica $A = 4\pi R^2$; o volume da esfera $V = \frac{4}{3}\pi R^3$; $\pi = 3$ e 1,0 atm = 10^5 N/m^2, faça o que se pede.

a. Na pressão máxima de 1,1 atm, determine, em kN, a intensidade da força média exercida pelo ar na superfície interna da bola. 13. a. 13,2 kN

b. Admitindo-se que o ar que preenche a bola se comporte como um gás perfeito e que, na pressão de 0,6 atm, sua temperatura seja de 15 °C, calcule a temperatura desse ar, em grau Celsius, na pressão de 0,7 atm. 13. b. 63 °C

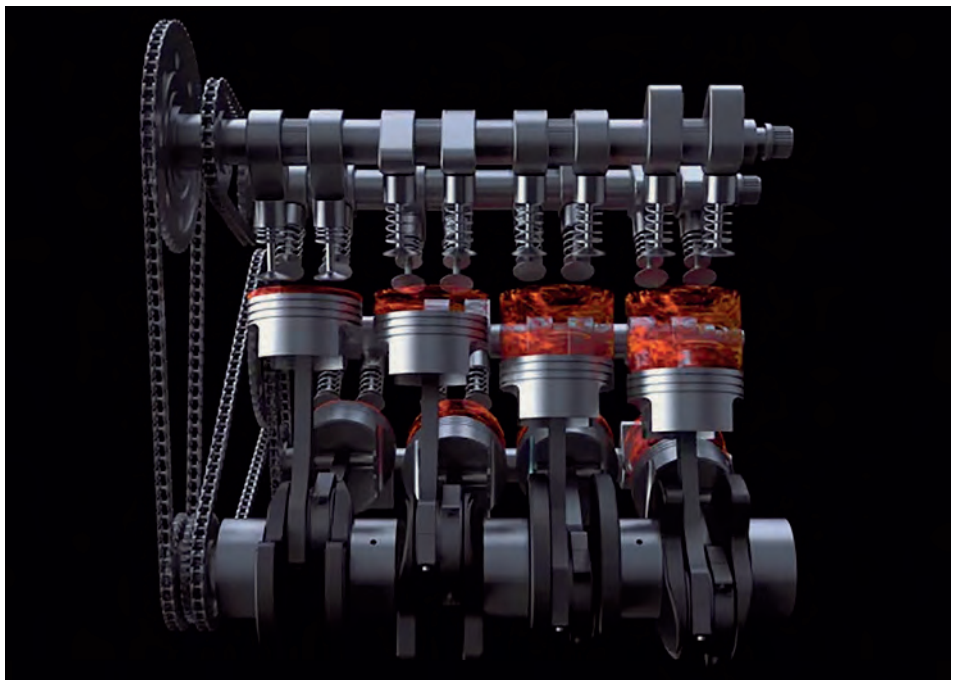
c. Adotando-se para a constante universal dos gases perfeitos o valor $R = 0{,}082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$, determine a quantidade de ar, em mol, dentro da bola quando esse gás estiver à pressão de 1,0 atm, a 27 °C.

13. c. Aproximadamente 0,16 mol.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 15

Transformações energéticas em sistemas termodinâmicos



YUCELYILMAZ/SHUTTERSTOCK

Representação de um motor de combustão interna em funcionamento. A expansão dos gases resultantes da combustão impulsiona os pistões; o movimento dos pistões é então transferido para as rodas do carro, ocasionando seu movimento. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Os motores a combustão que equipam diversos veículos são exemplos de como transformações de energia podem ocorrer. Neles, a energia química do combustível é convertida em energia mecânica, responsável pelo movimento. Os motores são projetados considerando a energia fornecida, o trabalho realizado, o calor trocado com o ambiente e o rendimento. Esses conceitos são a base das leis da Termodinâmica.

Neste capítulo, vamos estudar o trabalho realizado por um gás e a primeira lei da Termodinâmica.

Trabalho realizado por um gás

Considerando um gás ou o corpo humano, as trocas de energia podem ocorrer de duas formas: por meio de calor e/ou de trabalho. O trabalho corresponde à quantidade de energia trocada quando há movimento, ou seja, à energia mecânica.

Vamos considerar uma pessoa levantando halteres durante uma atividade física. Podemos dizer que ela está realizando trabalho ao afirmarmos que movimenta um haltere que se desloca na direção e no sentido $(\vec{d})$ da força aplicada $(\vec{F})$. Nesse caso, ela transfere energia mecânica proveniente do seu corpo ao haltere. Ao mesmo tempo, seu corpo esquenta e troca energia com o ar na forma de calor. No entanto, neste capítulo, vamos considerar o trabalho (τ) que, quando a força e o deslocamento possuem a mesma direção e o mesmo sentido, pode ser calculado usando-se os módulos da força (F) e do deslocamento (d).

$$\tau = F \cdot d$$

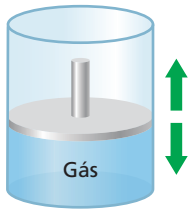
No Sistema Internacional de Unidades (SI), o trabalho é medido em joule (J).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em uma máquina que utiliza um gás como agente que realiza trabalho, como uma locomotiva a vapor ou um motor de automóvel a combustão, o trabalho realizado pelo gás pode ser calculado considerando-se um sistema idealizado composto de certa quantidade de massa de gás perfeito dentro de um cilindro. Esse cilindro é limitado na parte de cima por um êmbolo, que pode se movimentar para cima ou para baixo sem atrito (figura A). Denominamos **sistema termodinâmico** a região ocupada pelo gás no interior do cilindro, ou seja, delimitada pelas paredes do cilindro e pelo êmbolo. A parte exterior ao cilindro e ao êmbolo é chamada de **ambiente** (figura B).

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

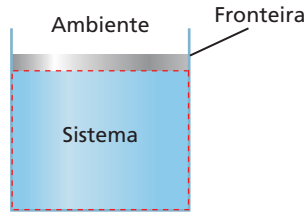
A



Gás ideal

Porção de um gás ideal dentro de um cilindro. Na parte superior, há um êmbolo que pode deslizar para cima ou para baixo sem atrito. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

B



Sistema termodinâmico

A região ocupada pelo gás ideal no interior do cilindro é denominada sistema termodinâmico, e a parte exterior é denominada ambiente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sabendo que a pressão é definida pela razão entre o módulo F de uma força aplicada perpendicularmente a uma superfície e a área A dessa superfície, temos:

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A \qquad (1)$$

Como a força aplicada pelo gás sobre o êmbolo provoca um deslocamento d nesse êmbolo, o trabalho (τ) da força fica determinado por:

$$\tau = F \cdot d \qquad (2)$$

Assim, substituindo a equação (1) na (2), obtemos:

$$\tau = p \cdot A \cdot d \qquad (3)$$

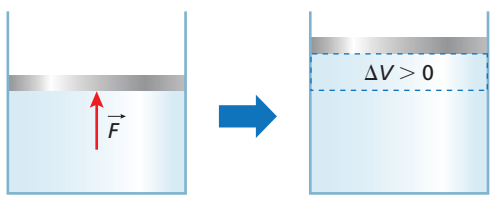
No entanto, $A \cdot d$ é igual à variação de volume ΔV do gás dentro do cilindro. Logo, a equação (3) pode ser reescrita como:

$$\tau = p \cdot \Delta V$$

A expressão obtida permite calcular o trabalho realizado pelo gás em transformações gasosas à pressão constante. Considerando-se a expressão anterior, o trabalho pode ser positivo ou negativo.

- Trabalho positivo ($\tau > 0$): quando há aumento do volume do gás ($\Delta V > 0$), como mostra a figura a seguir. Nesse caso, temos **trabalho motor**, ou seja, **trabalho realizado pelo gás** sobre o êmbolo, isto é, sobre o ambiente externo.

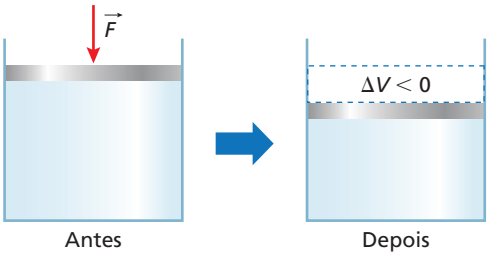
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Trabalho motor realizado pelo gás. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- Trabalho negativo ($\tau < 0$): quando há diminuição do volume do gás ($\Delta V < 0$), como na situação representada a seguir. Nesse caso, temos **trabalho resistente**, ou seja, **trabalho realizado sobre o gás** pelo ambiente externo.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

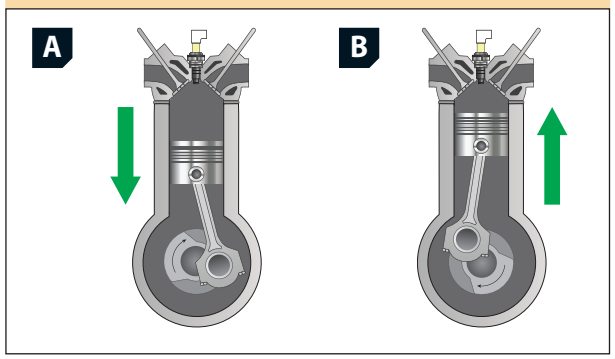
Trabalho resistente realizado sobre o gás. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Um exemplo no qual há expansão e contração com mudança na pressão do gás ocorre nos motores de carros a combustão. O motor é formado por cavidades, chamadas de cilindros, dentro das quais se movimentam os pistões. O ar no interior dos cilindros, já aquecido pela compressão dos pistões, tem temperatura e pressão elevadas após a combustão de uma mistura gasosa do ar com uma pequena quantidade de combustível. Em seguida, a mistura gasosa à alta pressão se expande (figura A). Nessa expansão, realiza um trabalho positivo, fornecendo energia ao ambiente externo e ao carro como um todo. Após a expansão, ocorre uma contração (figura B), processo em que o trabalho é realizado sobre a mistura gasosa, ou seja, ocorre um trabalho negativo. Nesse movimento, a mistura gasosa recebe energia do ambiente externo. Todo esse processo é repetido periodicamente, em ciclos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Movimento do pistão no cilindro de um carro

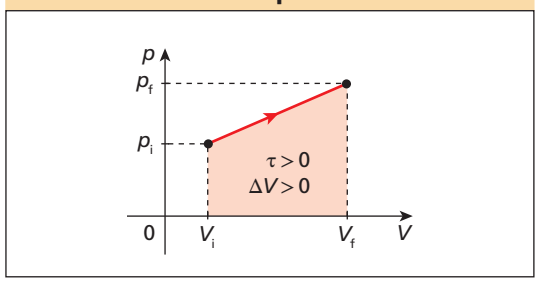


Representação do movimento do pistão em um cilindro de carro **(A)** no momento da expansão dos gases no interior do cilindro e **(B)** no momento da compressão dos gases no seu interior. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Graficamente, as situações do trabalho realizado pelo gás sobre o meio externo e do trabalho que o meio realiza sobre o gás podem ser representadas conforme os gráficos a seguir.

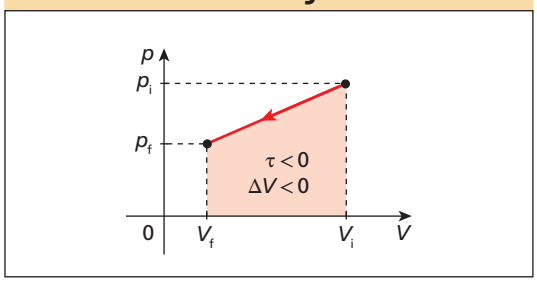
Gráfico de $p \times V$ para um trabalho positivo



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* para uma situação em que o trabalho é positivo, ou seja, o trabalho é realizado pelo gás sobre o ambiente externo. Nesse processo, o gás se expande.

Gráfico de $p \times V$ para um trabalho negativo



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* para uma situação em que o trabalho é negativo, ou seja, é realizado pelo ambiente externo sobre o gás. Nesse processo, o gás é comprimido.

Se o gás não se expande nem é comprimido ($\Delta V = 0$), não há trabalho realizado nem recebido ($\tau = 0$).

A expressão obtida anteriormente toma por base um valor constante de pressão. Caso a transformação não seja isobárica, ou seja, caso a pressão varie, o trabalho realizado pode ser calculado pela área sob a curva ($\tau \overset{N}{=} A$) de um gráfico da pressão p em função do volume V, também chamado de diagrama pV ou diagrama de Clapeyron, como mostram os gráficos anteriores. Note que, quando o trabalho é realizado pelo gás sobre o ambiente, ele é **positivo**; quando o trabalho é realizado pelo ambiente sobre o gás, ele é **negativo**.

Exemplo

Um cilindro com um gás ideal sofre a sequência de transformações gasosas indicadas no diagrama pV.

Qual é o trabalho realizado em cada transformação?

Na transformação I, temos uma expansão isobárica, ou seja, o gás realiza trabalho à pressão constante; logo:

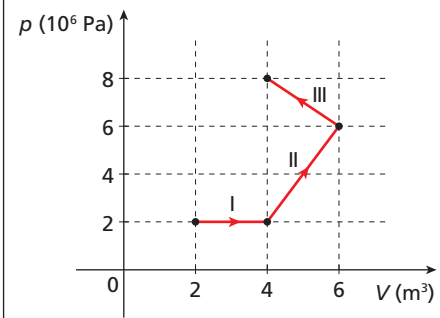
$\tau_I = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau_I = 2 \cdot 10^6\ \text{Pa} \cdot (4\ \text{m}^3 - 2\ \text{m}^3)$

$\therefore \tau_I = 4 \cdot 10^6\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3$

Lembrando que $1\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3 = 1\ \text{J}$, temos: $\tau_I = 4 \cdot 10^6\ \text{J}$

Na transformação II, temos também uma expansão, isto é, o gás realiza trabalho positivo e numericamente igual à área sob a curva II; ou seja, se calcularmos a área do trapézio que se delimita abaixo da curva II, obteremos o trabalho que o gás está realizando.

Gráfico de $p \times V$



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama pV mostrando três transformações gasosas em sequência (I, II e III).

$$\tau_{II} \overset{N}{=} A_{II} \Rightarrow \tau_{II} \overset{N}{=} \frac{(B + b) \cdot h}{2} \Rightarrow \tau_{II} \overset{N}{=} \frac{(6 + 2) \cdot 10^6 \cdot (6 - 4)}{2} \therefore \tau_{II} = 8 \cdot 10^6\ \text{J}$$

Ja na transformação III, temos uma compressão, ou seja, o ambiente realiza trabalho sobre o gás; o trabalho é negativo e numericamente igual à área sob a curva III.

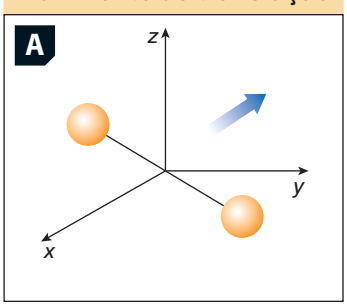
$$\tau_{III} \overset{N}{=} -(A_{III}) \Rightarrow \tau_{III} \overset{N}{=} -\frac{(B + b) \cdot h}{2} \Rightarrow \tau_{III} \overset{N}{=} -\frac{(8 + 6) \cdot 10^6 \cdot (6 - 4)}{2} \therefore \tau_{III} = -14 \cdot 10^6\ \text{J}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

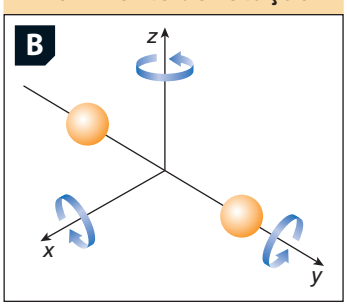
Energia interna

Em um sistema gasoso, chamamos **energia interna** a soma das energias cinéticas de translação, rotação e vibração e da energia potencial de ligação dos átomos e das moléculas que compõem o gás.

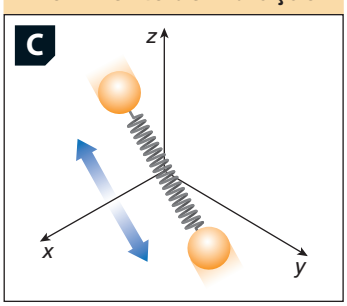
Movimento de translação



Movimento de rotação



Movimento de vibração



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Princípios de Física**: oscilações, ondas e termodinâmica. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 2.

Representação de movimentos de **(A)** translação, **(B)** rotação e **(C)** vibração para uma molécula diatômica, ou seja, composta de dois átomos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Para um gás ideal, não há interação entre as moléculas ou os átomos que compõem o gás; assim, a energia interna é somente a energia cinética das moléculas ou dos átomos. Além disso, considerando um **gás ideal monoatômico**, formado por átomos isolados e por apenas um tipo de elemento químico, dizemos que há somente energia cinética relacionada à translação. Assim, para um gás ideal monoatômico, o valor da energia interna depende apenas do movimento de translação das partículas que compõem o gás.

Considerando a teoria cinética dos gases, é possível obter a energia cinética de translação dos átomos que compõem o gás e, então, deduzir uma expressão para a energia interna (U) de um **gás ideal monoatômico**, dada por:

$$U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T$$

Em que n é o número de mols do sistema, R é a constante universal dos gases [$R = 8{,}3144\ \text{J/(K} \cdot \text{mol)}$] e T é a temperatura absoluta do sistema, em Kelvin.

Podemos, então, calcular, para um gás ideal monoatômico, a variação da energia interna ΔU entre os estados final e inicial.

$$\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T_{\text{final}} - \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T_{\text{inicial}} \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T$$

Portanto, concluímos que a variação da energia interna depende apenas da mudança de temperatura. Note que, se a temperatura aumentar, a variação de energia interna será positiva; se a temperatura diminuir, será negativa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Se colocarmos uma garrafa de plástico sem líquido (somente com ar e fechada) no *freezer*, aguardarmos algumas horas e a retirarmos, veremos que a garrafa se contraiu (murchou), amassando-se, como mostra a fotografia. Com base nessa situação, o que podemos afirmar a respeito das grandezas ΔV, τ e ΔU?

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

Depois de algumas horas no *freezer*, a garrafa de plástico se contrai.

O volume ocupado pelo gás diminuiu, o que pode ser percebido visualmente, já que a garrafa se contraiu. O trabalho é negativo, como em toda contração gasosa. Portanto, a energia na forma de trabalho foi transferida do ambiente externo para o gás (ar) dentro da garrafa. A temperatura diminuiu e, com isso, a energia interna também diminuiu, como em todo resfriamento de gás, determinando $\Delta U < 0$.

Mas como é possível a energia interna diminuir se o gás recebeu energia na forma de trabalho?

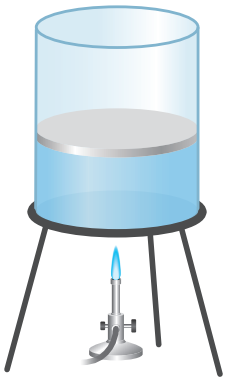
A energia interna diminui porque o trabalho recebido não é a única forma de troca de energia que ocorre com o gás. Além dela, há troca por calor, e a diferença entre essas trocas causará a redução ou o aumento da energia interna, como estudaremos a seguir.

Primeira lei da Termodinâmica

Estudamos que trocas de energia, seja por trabalho, seja por calor, podem acarretar o aumento ou a redução da energia interna de um gás.

Uma das primeiras pessoas a estudar essa relação foi o físico e médico alemão Julius von Mayer (1814-1878). Mayer afirmou que o calor e o trabalho poderiam ser formas de energia convertíveis uma na outra. Poucos anos depois, o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) realizou diversos experimentos que permitiram comprovar que uma quantidade de calor poderia ser convertida em energia mecânica. Em sua homenagem, foi nomeada a unidade de energia no SI, o joule (J). A conversão da unidade mais usual para calor (cal) em joule (J) é dada por 1 cal = 4,18 J.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Em uma expansão isobárica de um gás ideal, ao receber calor, parte da energia é usada para aumentar a energia interna do gás, enquanto outra parte é usada para realizar trabalho sobre o ambiente externo. (Cores-fantasia.)

A **primeira lei da Termodinâmica** expressa a conservação de energia de um sistema em um processo termodinâmico, levando em consideração o trabalho realizado (τ) pelo sistema ou sobre o sistema, o calor trocado (Q) e a variação da energia interna (ΔU).

Considere, por exemplo, um recipiente com um êmbolo móvel, capaz de deslizar sem atrito, preenchido com um gás ideal, como mostra a figura. Ao colocarmos esse recipiente em um aquecedor, o gás recebe calor e se expande, realizando trabalho isobaricamente; além disso, sua temperatura aumenta, ou seja, sua energia interna aumenta. Portanto, podemos concluir que uma parte do calor que o gás recebeu foi usada para realizar trabalho e a outra parte foi armazenada como energia interna. Assim, a primeira lei da Termodinâmica pode ser considerada uma lei de conservação de energia.

Em um processo termodinâmico, a energia total do sistema se conserva, ou seja, a variação da energia interna deve ser igual à diferença entre o calor trocado com o meio e o trabalho (realizado ou recebido) das forças de interação entre o sistema e sua vizinhança. Matematicamente, a primeira lei da Termodinâmica pode ser expressa como:

$$\Delta U = Q - \tau$$

- Se $Q > 0$, energia térmica é recebida pelo sistema termodinâmico.
- Se $Q < 0$, energia térmica é cedida pelo sistema termodinâmico.
- Se $\tau > 0$, trabalho é realizado pelo sistema termodinâmico.
- Se $\tau < 0$, trabalho é realizado sobre o sistema termodinâmico.
- Se $\Delta U > 0$, há aumento na temperatura do sistema termodinâmico (aquecimento).
- Se $\Delta U < 0$, há redução na temperatura do sistema termodinâmico (resfriamento).

As transformações de energia ocorrem ao nosso redor o tempo todo. Por exemplo, as lâmpadas transformam energia elétrica em energia luminosa e energia térmica e as plantas transformam a energia da luz solar em energia química armazenada em moléculas orgânicas.

Exemplo

Considere que certa massa de gás ideal sofre uma expansão isobárica, como indicado no gráfico a seguir.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

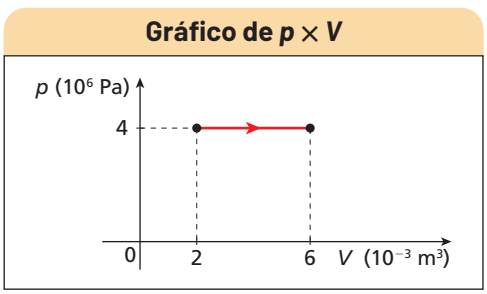


Diagrama pV de uma transformação gasosa.

a. Qual é o trabalho realizado nessa expansão?

$$\tau = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau = 4 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot (6 - 2) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\therefore \tau = 16.000 \text{ J}$$

b. Sabendo que o sistema recebe 20.000 J de calor do ambiente externo, qual é a variação de energia interna do gás ao final do processo?

Como o sistema recebeu 20.000 J de calor, temos:

$$Q = +20.000 \text{ J}$$

Então, aplicando-se a equação da primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = +20.000 \text{ J} - 16.000 \text{ J}$$

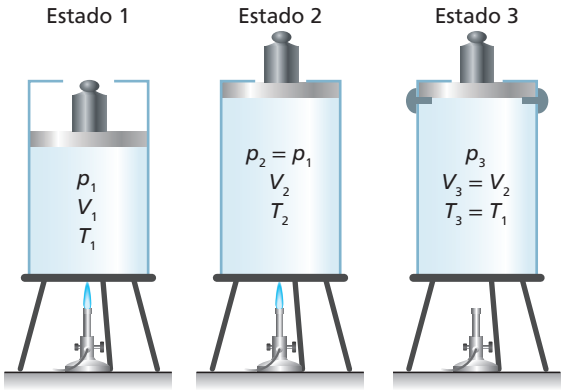
$$\therefore \Delta U = 4.000 \text{ J}$$

O valor positivo de ΔU indica que o gás sofreu um aquecimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Este esquema representa um cilindro contendo um gás ideal (monoatômico) em três estados distintos: 1, 2 e 3.



Representação de um cilindro preenchido com gás ideal em três estados diferentes. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

No estado 1, o gás está à temperatura absoluta T_1, submetido à pressão $p_1 = 1{,}2 \cdot 10^5$ Pa, e ocupa um volume $V_1 = 0{,}008\ m^3$. Acende-se então sob o cilindro uma chama de potência constante, que fornece ao gás uma quantidade de calor $Q = 1.200$ J. O gás sofre uma expansão lenta e isobárica até o estado 2, quando o êmbolo atinge o topo do cilindro e é impedido de continuar subindo. Nesse caso, o gás passa a ocupar um volume $V_2 = 0{,}012\ m^3$ à temperatura absoluta T_2. Nesse momento, o êmbolo é travado e impedido de descer e a chama é apagada. O gás é na sequência resfriado até o estado 3, quando a temperatura absoluta retorna ao valor inicial T_1 e ele fica submetido a uma nova pressão p_3.

Considerando-se que o cilindro tenha capacidade térmica desprezível, determine:

a. **o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás na base do êmbolo do estado 1 ao estado 2;**

b. **a variação da energia interna do gás ao ser levado do estado 1 ao estado 2;**

c. **a pressão do gás no estado 3.**

Analisar o enunciado

O problema descreve um processo em três etapas para um gás ideal dentro de um cilindro. Inicialmente, o gás está no estado 1 com temperatura T_1, pressão p_1 e volume V_1. O gás recebe uma quantidade de calor Q e, ao se expandir de forma isobárica, passa ao estado 2, no qual o volume aumenta para V_2 e a temperatura se altera para T_2. No estado 2, o êmbolo é travado, e o gás é resfriado de volta à temperatura T_1, chegando ao estado 3, no qual a pressão é p_3. O problema pede o cálculo de três aspectos: trabalho realizado na expansão, variação da energia interna e a pressão final.

Selecionar as informações relevantes

Para responder ao item **a**, é preciso ter em mente que, na expansão isobárica descrita do estado 1 ao estado 2, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás na base do êmbolo é positivo e pode ser calculado pela equação: $\tau = p_1 \cdot \Delta V = p_1 \cdot (V_2 - V_1)$

Para responder ao item **b**, aplicamos a primeira lei da Termodinâmica e calculamos a variação de energia interna pela equação: $\Delta U = Q - \tau$

No item **c**, para o cálculo da pressão p_3, aplica-se a lei geral dos gases ideais: $\frac{p_3 \cdot V_3}{T_3} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$

Aplicar o conceito estudado

a. Para o cálculo do trabalho, temos:

$\tau = p_1 \cdot \Delta V = p_1 \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau = 1{,}2 \cdot 10^5 \cdot (0{,}012 - 0{,}008) \Rightarrow \tau = 1{,}2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}004$

$\therefore \tau = 480$ J

b. De acordo com o enunciado, $Q = 1.200$ J. Dessa forma:

$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 1.200 - 480 \therefore \Delta U = 720$ J

c. Aplicando a lei geral dos gases ideais, temos:

$$\frac{p_3 \cdot V_3}{T_3} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$$

Sendo $T_3 = T_1$ e $V_3 = V_2 = 0{,}012\ m^3$, segue:

$p_3 \cdot 0{,}012 = 1{,}2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}008 \Rightarrow p_3 = \frac{1{,}2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}008}{0{,}012} \Rightarrow$

$\Rightarrow p_3 = \frac{960}{0{,}012} \therefore p_3 = 8{,}0 \cdot 10^4$ Pa

Verificar a solução

Ao longo da transformação isobárica, era esperado que o gás realizasse trabalho ao se expandir, como calculado no item **a**. A variação da energia interna está coerente com a quantidade de calor fornecida, conforme se verifica a seguir. Por fim, a pressão no estado 3 ser menor que a pressão inicial faz sentido, já que o volume é maior e a temperatura retornou ao estado inicial. Assim, os resultados são consistentes com o comportamento de um gás ideal monoatômico.

$\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} p_1 \cdot \Delta V \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 480 \therefore \Delta U = 720$ J

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essa seção promove um trabalho interdisciplinar com Biologia e Química, possibilitando a integração de conceitos de Termodinâmica, Bioquímica e Fisiologia. A habilidade EM13CNT101 pode ser desenvolvida ao se trabalhar os conceitos de energia, trabalho e calor no contexto do corpo humano como um sistema termodinâmico. Em Química, pode-se trabalhar a transformação da energia química dos alimentos em energia utilizável pelo corpo, como ATP, durante o metabolismo. Em Biologia, pode-se discutir como essa energia é utilizada nas funções vitais, por exemplo, na circulação sanguínea, na contração muscular e na regulação da temperatura corporal.

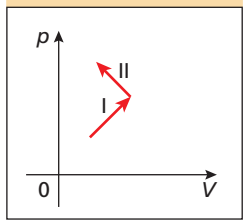
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Este gráfico apresenta duas transformações gasosas. Para cada transformação, indique se está ocorrendo uma expansão ou uma compressão e se o trabalho é realizado pelo gás ou pelo ambiente.

Gráfico de $p \times V$



LUIZ RUBIO/ ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* mostrando duas transformações gasosas (I e II) em sequência.

1. Transformação I: expansão, o gás realiza trabalho. Transformação II: compressão, o ambiente realiza trabalho.
3. Como o gás foi aquecido, a energia interna do gás aumentou, e parte dela foi usada para mover o pistão para cima, realizando trabalho.

2. Considere dois recipientes idênticos, *A* e *B*, preenchidos com um mesmo gás. O recipiente *A* está a uma temperatura maior que o recipiente *B*. Em qual dos dois recipientes o gás tem maior energia interna? Explique.

2. O recipiente A possui maior energia interna do que o *B*.

3. Um gás ideal está contido dentro de um cilindro com um pistão móvel (sem atrito) na parte superior. Considere esse sistema isolado. Em determinado momento, o gás é aquecido movendo o pistão lentamente para cima. Explique o que ocorre com a energia interna do gás, com o calor fornecido ao sistema e com o trabalho.

4. De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, o que ocorre com energia total em um sistema isolado? Explique.

4. A energia total permanece constante.

Registre em seu caderno

EM FOCO Vitaminas, proteínas, lipídios ou carboidratos?

ODS 2 Para exercer suas funções vitais e realizar trabalho, como caminhar, elevar objetos ou praticar esportes, o corpo humano precisa de energia que provém dos alimentos ingeridos. Afinal, o corpo nada mais é que um sofisticado sistema termodinâmico que converte energia química dos alimentos em calor e trabalho.

No processo digestivo, os alimentos são quebrados em pequenas partículas contendo nutrientes que mantêm os órgãos em funcionamento, promovendo a circulação sanguínea e a competência estrutural.

Por isso, é necessário ter uma dieta balanceada para que os nutrientes atendam às demandas do corpo, permitindo levar uma vida saudável. Assim, é necessário ingerir os alimentos adequados a fim de que não ocorram déficits de nutrição que venham a comprometer o bom funcionamento do organismo.

Os nutrientes são classificados em macronutrientes e micronutrientes. Ambos os tipos são vitais e devem ser ofertados ao organismo em doses adequadas. Os micronutrientes, como as vitaminas e os minerais, são necessários em menor quantidade. Já os macronutrientes são aqueles de que o corpo necessita em maior quantidade, sendo encontrados abundantemente nos alimentos em geral. São exemplos as proteínas, os carboidratos e os lipídios.

As proteínas, formadas por aminoácidos, são fundamentais na construção dos tecidos do corpo, tendo importância estrutural. Além disso, atuam como enzimas e hormônios, desempenhando funções vitais na regulação do sistema imunológico e no transporte de nutrientes. Carnes, ovos e laticínios são alimentos ricos em proteínas.

Os carboidratos, por sua vez, constituem a principal fonte de energia para o organismo. São moléculas orgânicas fartamente disponíveis na natureza, que se classificam em monossacarídeos, como a glicose, dissacarídeos, como a sacarose, e polissacarídeos, como o amido. Alguns alimentos com altas concentrações de carboidratos são arroz, pão, massas, açúcar e mel.

Já os lipídios são uma classe de moléculas que incluem as gorduras e as substâncias semelhantes. Os lipídios fornecem energia ao corpo de forma mais concentrada do que os carboidratos, cerca de 9 kcal por grama, em comparação com 4 kcal por grama de carboidratos. Desempenham funções, como a produção de membranas (fosfolipídeos), a proteção dos órgãos contra impactos e a formação de camadas adiposas que protegem termicamente os órgãos. Manteigas, margarinas, carnes gordas, óleos e azeites são produtos ricos em lipídios.

Além desses alimentos, a ingestão de água em quantidades adequadas tem papel preponderante no funcionamento do organismo, atuando no transporte e na eliminação de substâncias, na lubrificação de tecidos e órgãos, na participação em reações químicas diversas e na regulação da temperatura corpórea por meio da transpiração. Frutas cítricas, melancia, melão, berinjela, cenoura e tomate são alimentos que contêm muita água.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Como os seres humanos são seres endotérmicos, ou seja, que mantêm a temperatura corporal em um valor constante independentemente da temperatura do ambiente, qual é a importância da alimentação nesse processo?
2. Com base no texto, qual é a principal substância responsável por reduzir a temperatura do corpo mantendo-a em aproximadamente 37,5 °C? Quais outras funções ela desempenha?
3. Discuta com os colegas de que forma uma alimentação balanceada contribui para a saúde física. Inclua na discussão as substâncias mencionadas no texto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

5. No primeiro caso a energia interna aumentará em 100 J. No segundo caso, a energia interna do sistema terá um aumento de 60 J.

1. Extintores de incêndio são itens de segurança obrigatórios em todos os locais com grande circulação de pessoas. Para combater incêndios das classes B (causados por líquidos inflamáveis) e C (causados por equipamentos eletrônicos), são utilizados extintores à base de dióxido de carbono (CO_2). Ao ser acionado, um extintor como esse lança um jato de gás confinado sob alta pressão que atua resfriando e abafando as chamas, extinguindo o poder de combustão, ao diminuir a concentração de oxigênio do ambiente.

KOKATE16/GETTY IMAGES

Extintor à base de dióxido de carbono (CO_2) em funcionamento.

Nota-se que o acionamento prolongado do equipamento provoca uma sensível redução na temperatura do cilindro. Indique a alternativa que melhor explica essa redução de temperatura. 1. Alternativa **b**.

a. A rápida expansão do gás no ambiente externo ocasiona perda de calor no extintor.

b. A rápida expansão do gás no ambiente externo constitui uma transformação adiabática (não há troca de calor com o ambiente e $Q = 0$) em que o gás realiza trabalho à custa de sua energia interna.

c. Por ser um processo prolongado, o extintor cede energia interna ao ambiente externo.

d. Por ocorrer uma expansão isobárica do gás, este retira calor do gás remanescente dentro do tubo.

e. A rápida expansão do gás no ambiente externo constitui uma transformação em que o gás realiza trabalho à custa do calor contido dentro do tubo.

2. Um recipiente com dois mols de um gás ideal monoatômico está a 27 °C. Após sofrer uma transformação, sua temperatura aumenta para 227 °C. Sendo a constante universal dos gases ideais $R = 8{,}31$ J/(mol · K), determine a variação da energia interna que o gás sofreu no processo. 2. 4.986 J

3. Calcule a energia interna, em joule, de uma amostra de 2 L de um gás ideal monoatômico que está sob pressão de $2 \cdot 10^5$ Pa, considerando a constante universal dos gases ideais $R = 8{,}31$ J/(mol · K). 3. 600 J

4. Em um processo isobárico, certa massa de um gás ideal absorve 125 kcal de calor. A pressão do gás nessa transformação é igual a $8 \cdot 10^5$ N/m^2 e seu volume aumenta em 0,25 m^3. Qual foi a variação da energia interna? Considere: 1 cal = 4,0 J. 4. $3{,}0 \cdot 10^5$ J

5. Se 100 J forem adicionados a um sistema que não realiza trabalho externo, a energia interna se elevará ou reduzirá? E se esse sistema executar 40 J de trabalho externo, a energia interna se elevará ou se reduzirá? Justifique.

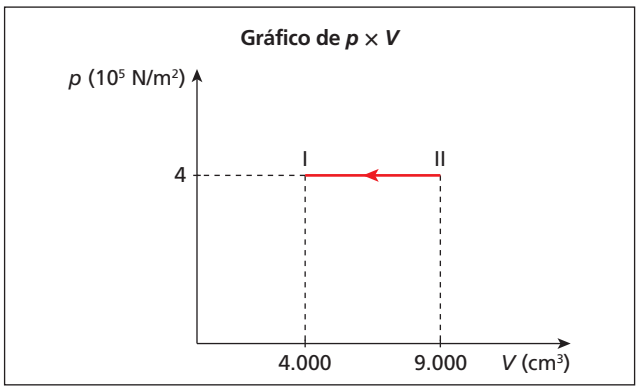
6. Um gás ideal recebe 600 J sob a forma de calor enquanto se expande, e o trabalho da força relacionada à pressão é de 400 J. Considerando que a energia interna inicial é de 400 J, qual deve ser a energia interna final? 6. 600 J

7. Em uma primeira situação, um gás ideal está contido em um recipiente cilíndrico que tem um êmbolo móvel de área 25,0 cm^2, inicialmente à pressão atmosférica no nível do mar (1,0 atm). Em um segundo momento, o êmbolo se desloca 7,0 cm sem atritos, de modo que o volume interno do recipiente diminui. Considere que a pressão do gás se mantém constante ao longo do processo.

a. O que acontece com a temperatura do gás? 7. a. Diminui.

b. Qual é o trabalho? Ele é realizado sobre o gás ou pelo gás? Adote 1,0 atm = 10^5 Pa. 7. b. $\tau = -17{,}5$ J. Sobre o gás.

8. Uma transformação gasosa que cedeu 1.000 cal ao meio externo é representada no diagrama *pV* a seguir.



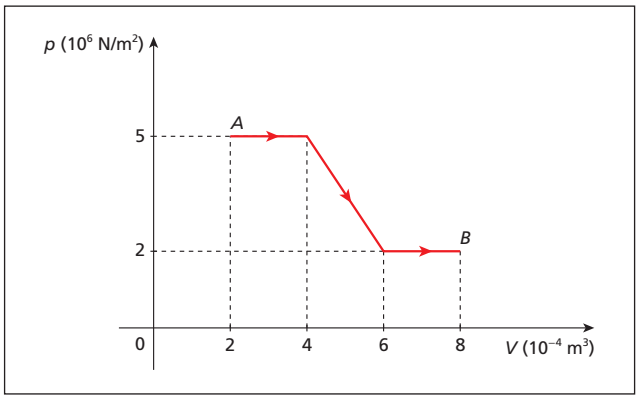
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* da transformação gasosa. 8. a. Transformação isobárica. 8. b. $\tau = -2.000$ J e $\Delta U = -2.000$ J

a. Que tipo de transformação ocorreu?

b. Calcule o trabalho e a variação da energia interna dessa transformação. Adote 1,0 cal = 4,0 J.

9. (UEFS-BA) Um fluido se expande do estado A para o estado B, como indicado no diagrama da figura.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Analisando-se essas informações, é correto afirmar que o trabalho realizado nessa expansão, em kJ, é igual a: 9. Alternativa **c**.

a. 2,3
b. 2,2
c. 2,1
d. 2,0
e. 1,9

10. O diagrama volume × temperatura absoluta a seguir mostra um processo isobárico ocorrido com uma amostra de gás monoatômico, cujo comportamento pode ser considerado igual ao de um gás ideal.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

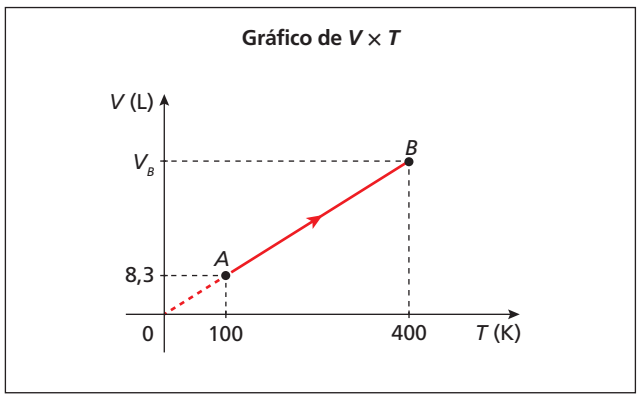


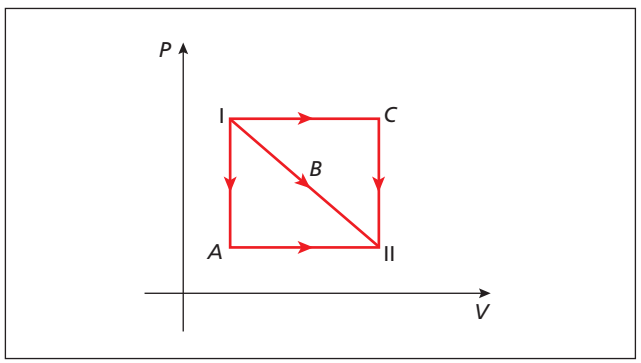
Diagrama *VT* de um processo isobárico.

A pressão é mantida constante em $1{,}0 \cdot 10^6$ N/m². A constante universal dos gases ideais vale 8,3 J/(mol · K). Assim, determine:

a. o número de mols do gás; 10. a. 10 mols
b. o trabalho realizado pelo gás no processo *AB*; 10. b. 24,9 kJ
c. a quantidade total de calor fornecida ao gás no processo *AB*. 10. c. 65,25 kJ

11. (Fuvest-SP) No diagrama $p \times V$ da figura, *A*, *B* e *C* representam transformações possíveis de um gás entre os estados I e II.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

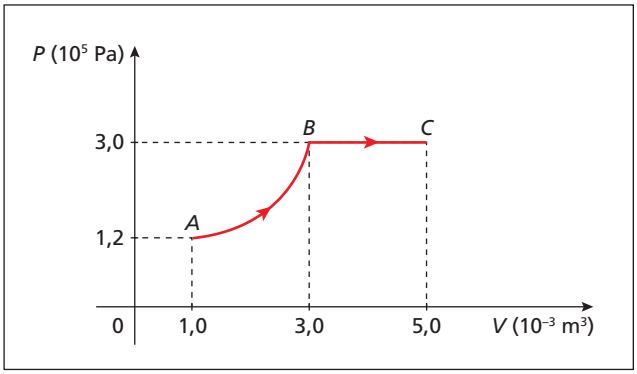


Com relação à variação ΔU da energia interna do gás e ao trabalho *W* por ele realizado, entre esses estados, é correto afirmar que: 11. Alternativa **a**.

a. $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
b. $\Delta U_A > \Delta U_C > \Delta U_B$ e $W_C = W_A < W_B$.
c. $\Delta U_A < \Delta U_B < \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
d. $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C = W_A > W_B$.
e. $\Delta U_A > \Delta U_B > \Delta U_C$ e $W_C = W_B = W_A$.

12. (Med. Einstein-SP) Para provocar a transformação gasosa *ABC*, representada no diagrama $p \times V$, em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe 1.400 J de energia em forma de calor, dos quais 300 J transformaram-se em energia interna do gás, devido ao seu aquecimento nesse processo.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Considerando não ter havido perda de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás no trecho *AB* dessa transformação foi de: 12. Alternativa **b**.

a. 400 J
b. 500 J
c. 600 J
d. 800 J
e. 1.100 J

13. Uma massa equivalente a 1,0 mol de gás ideal (monoatômico) vai sofrer a expansão *ABCD* representada no diagrama da pressão em função do volume a seguir.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

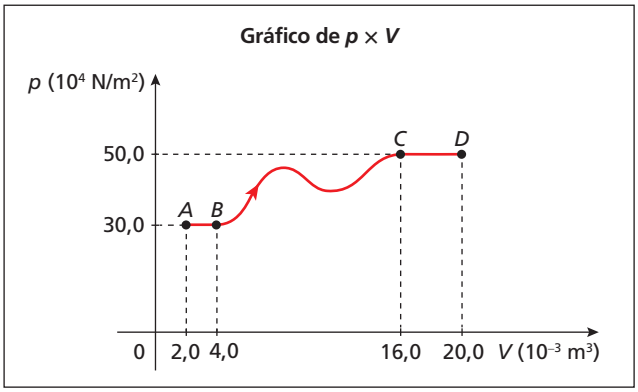


Diagrama *pV* de uma expansão *ABCD*. (Imagem sem escala.)

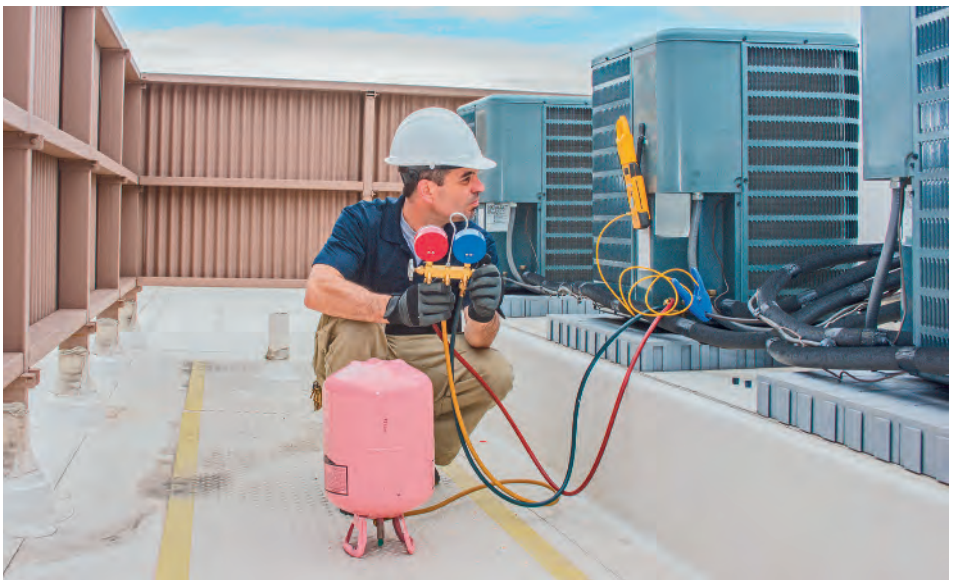
Sabendo que no processo *ABCD* o trabalho total realizado pelo gás é de 8,0 kJ e adotando $R = 8{,}0$ J/(mol · K), calcule o que se pede.

a. O trabalho realizado pelo gás no trecho *BC*. 13. a. 5,4 kJ
b. A quantidade total de calor recebida pelo gás na expansão *ABCD*. 13. b. 22,1 kJ

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 16

Transformações gasosas, ciclos termodinâmicos e entropia



DAVID SPATES/SHUTTERSTOCK

Técnico realiza a manutenção de um aparelho de ar condicionado industrial, tarefa essencial para o funcionamento eficiente e economia de energia desses sistemas em ambientes de grande e pequeno porte.

Nos últimos anos, os efeitos das mudanças climáticas têm sido mais perceptíveis. Ondas de calor em períodos que anteriormente eram mais frios, incidência de chuvas de maior intensidade e mudanças nas direções dos ventos são alguns exemplos. Com a variação de temperatura se tornando um problema cada vez maior, se faz necessário o uso de aparelhos que mantenham a temperatura agradável nos ambientes, como aparelhos de ar condicionado. No funcionamento desses dispositivos, um gás refrigerante passa por várias transformações dentro de um ciclo, possibilitando o controle da temperatura do ambiente. No entanto, o aumento do uso do ar condicionado levanta preocupações quanto ao consumo de energia elétrica e à emissão de gases de efeito estufa. Novas tecnologias, como sistemas de refrigeração com fluidos mais ecológicos e aparelhos com maior eficiência energética, vêm sendo desenvolvidas para minimizar esses impactos. Além disso, o uso de fontes de energia renováveis para alimentar esses dispositivos tem ganhado destaque como uma solução para reduzir o impacto ambiental.

Neste capítulo, estudaremos como ocorrem as transformações gasosas, os ciclos termodinâmicos, a segunda lei da Termodinâmica e o conceito de entropia.

Transformações gasosas

Estudamos, nos capítulos anteriores, como algumas peças do motor de veículos se dilatam e como ocorrem as transformações de energia em motores de combustão interna. Automóveis movidos a gasolina, etanol, diesel e gás natural veicular (GNV), por exemplo, são equipados com motores de combustão interna. Esse tipo de motor é considerado uma máquina térmica, ou seja, ele transforma a energia térmica resultante da queima de combustível em trabalho mecânico, e isso ocorre em processos cíclicos. Assim, um gás recebe energia proveniente da combustão e transfere energia para os pistões, realizando trabalho.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse processo pode ser descrito pela primeira lei da Termodinâmica, também chamada de lei da conservação da energia, aplicada a sistemas termodinâmicos, que expressa a relação entre a variação da energia interna (ΔU), o calor envolvido (Q) e o trabalho trocado (τ) por uma máquina térmica.

$$\Delta U = Q - \tau$$

Veremos a seguir como ocorrem as transformações gasosas em sistemas termodinâmicos em função da variação da energia interna, do calor envolvido e do trabalho trocado com o meio.

Transformação isotérmica

Em transformações gasosas com temperatura constante ($\Delta T = 0$), não ocorre variação da energia interna. Pelo fato de a temperatura ser constante, dizemos que se trata de uma **transformação isotérmica**. Assim, o termo de variação da energia interna na expressão matemática da primeira lei da Termodinâmica é igual a zero:

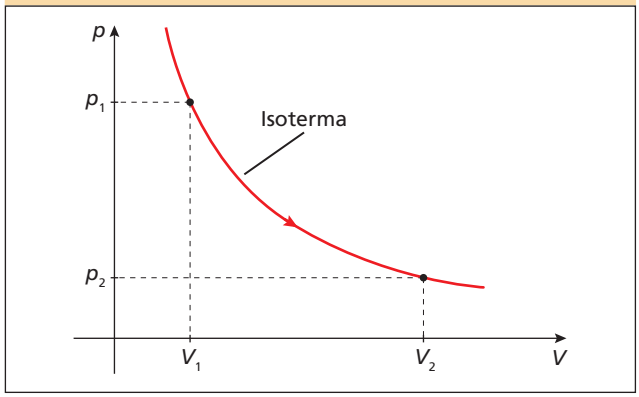
$$\Delta U = 0$$

Desse modo, pela primeira lei da Termodinâmica, consideramos que o trabalho trocado com o meio é igual à quantidade de calor envolvida, ou seja:

$$\tau = Q$$

Em **expansões isotérmicas**, representadas no gráfico de pressão pelo volume, também chamado de diagrama *pV* ou de Clapeyron, o gás realiza trabalho ao se expandir ($\tau > 0$). Para que isso ocorra, ele precisa receber calor de uma fonte externa ($Q > 0$), de modo que não haja variação da energia interna e o calor se transforme integralmente em trabalho realizado. A curva (hipérbole) no gráfico também é chamada de linha **isoterma**.

Gráfico de $p \times V$ para uma expansão isotérmica

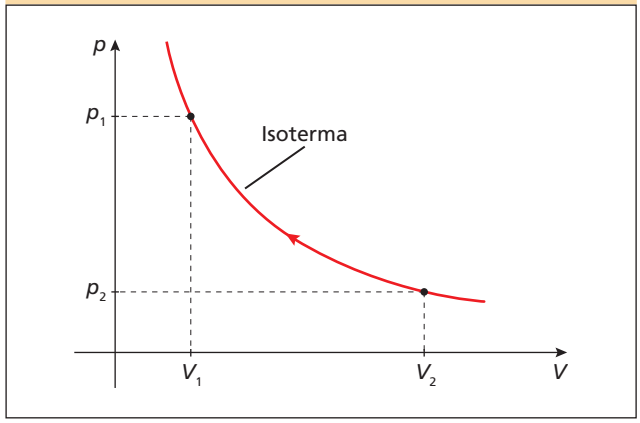


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma expansão isotérmica. Nesse processo, a pressão diminui e o volume aumenta à temperatura constante.

Em uma **compressão isotérmica**, representada pelo gráfico a seguir, ocorre o oposto: quando um gás ideal é comprimido, o trabalho é negativo ($\tau < 0$), pois o meio externo realiza trabalho sobre o gás e o calor é negativo ($Q < 0$), ou seja, o calor é liberado para o ambiente.

Gráfico de $p \times V$ para uma compressão isotérmica



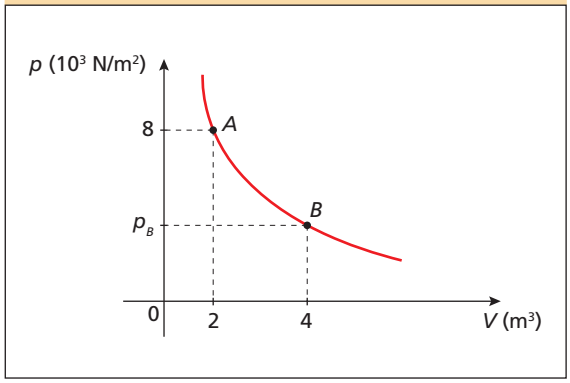
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma compressão isotérmica. Nesse processo, a pressão aumenta e o volume diminui à temperatura constante.

Exemplo

O gráfico a seguir mostra uma transformação isotérmica sofrida por um gás ideal que vai do estado *A* para o estado *B*.

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação isotérmica



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma transformação isotérmica em que um gás vai de *A* para *B*.

Sabendo que o gás troca 6.000 J de energia em forma de calor com o meio, responda às questões.

a. Qual é a pressão do gás no estado *B*?

Para calcular a pressão do gás no estado *B*, devemos aplicar a lei de Boyle-Mariotte, que é dada por:

$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B \Rightarrow 8 \cdot 10^3\ \text{N/m}^2 \cdot 2\ \text{m}^3 = p_B \cdot 4\ \text{m}^3$

$\therefore p_B = 4 \cdot 10^3\ \text{N/m}^2$

b. Qual é o trabalho realizado pelo gás na transformação?

Como temos uma expansão isotérmica, sabemos que a variação de energia interna do gás é nula; portanto, pela primeira lei da Termodinâmica, a

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

quantidade de calor recebida é totalmente usada para realizar trabalho. Logo:

$$\tau = Q \therefore \tau = 6.000 \text{ J}$$

c. Qual é a variação da energia interna do gás?

Em um processo isotérmico, não há variação de temperatura. Portanto, a variação de energia interna do gás é nula: $\Delta U = 0$.

Transformação isovolumétrica, isométrica ou isocórica

Nas transformações gasosas em que o volume é constante ($\Delta V = 0$), ou seja, em uma **transformação isovolumétrica**, **isométrica** ou **isocórica**, o gás não realiza trabalho nem trabalho é realizado sobre ele. Assim:

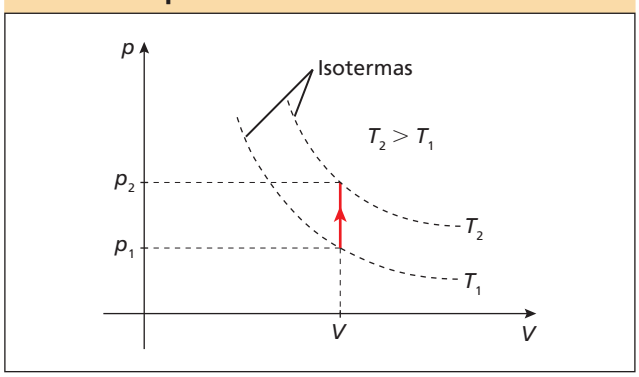
$$\tau = 0$$

Desse modo, pela primeira lei da Termodinâmica, a variação de energia interna no processo é igual à quantidade de calor trocada com o meio externo, ou seja:

$$\Delta U = Q$$

Vamos considerar uma transformação isovolumétrica em que ocorra aumento de pressão. Tomemos como exemplo o que acontece em uma panela de pressão antes de o vapor começar a sair pela válvula. A pressão dentro da panela, com volume constante, aumenta conforme aumenta a temperatura. Portanto, nas transformações isovolumétricas, há aumento da pressão quando há aumento da temperatura ($\Delta T > 0$). Por sua vez, como a temperatura aumenta, ocorre aumento na energia interna ($\Delta U > 0$) do sistema. Logo, o sistema precisa receber calor do meio externo ($Q > 0$).

Gráfico de $p \times V$ para um aquecimento isovolumétrico

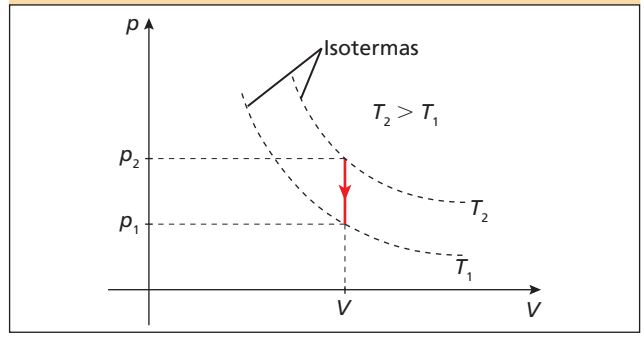


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de um aquecimento isovolumétrico em que há aumento de pressão e temperatura.

Agora, se em uma transformação com volume constante a temperatura diminuir, a pressão diminuirá. Haverá, nesse caso, uma diminuição na agitação das partículas do gás, levando à diminuição de temperatura ($\Delta T < 0$) e à diminuição da energia interna do sistema ($\Delta U < 0$). Portanto, há liberação de calor para o meio externo ($Q < 0$).

Gráfico de $p \times V$ para um resfriamento isovolumétrico



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de um resfriamento isovolumétrico em que há diminuição de pressão e temperatura.

Exemplo

Um motor de quatro tempos possui uma câmara de combustão. Em uma de suas etapas de funcionamento, o gás dentro da câmara, admitido com volume constante, recebe 2.340 J de calor proveniente da queima do combustível. Quais são o trabalho realizado e a variação da energia interna do gás?

Como a transformação é isovolumétrica, não há variação de volume, portanto não há realização de trabalho; logo:

$$\tau = 0$$

Assim, pela primeira lei da Termodinâmica, a variação de energia interna será igual à quantidade de calor recebida, isto é:

$$\Delta U = Q \therefore \Delta U = 2.340 \text{ J}$$

Transformação isobárica

Vamos agora estudar como ocorre uma **transformação isobárica**, ou seja, uma transformação na qual a pressão seja constante ($\Delta p = 0$). Se ocorre uma expansão do gás, tanto o volume quanto a temperatura aumentam ($\Delta V > 0$ e $\Delta T > 0$). Como consequência do aumento do volume, o gás realiza trabalho sobre o ambiente externo ($\tau > 0$) e, com o aumento da temperatura, a variação da energia interna será positiva ($\Delta U > 0$). Utilizando a primeira lei da Termodinâmica, temos:

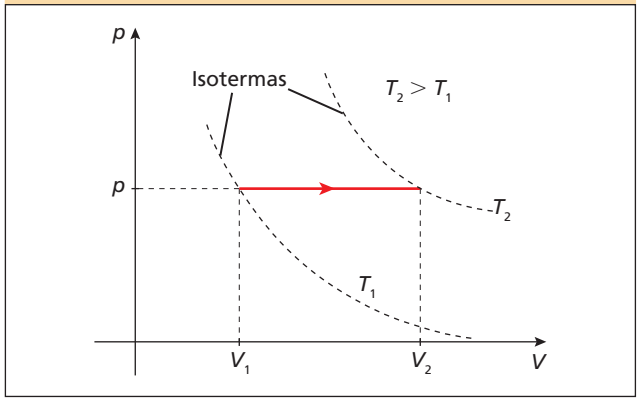
$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow Q = \Delta U + \tau$$

Portanto, como o trabalho e a variação de energia interna nesse caso são positivos, o calor também será positivo, isto é, o gás deverá receber calor.

No caso de uma compressão isobárica, o volume e a temperatura diminuem ($\Delta V < 0$ e $\Delta T < 0$). Como o volume diminui, o trabalho é realizado sobre o gás ($\tau < 0$) para comprimi-lo e, com a diminuição de temperatura, a variação de energia interna é negativa ($\Delta U < 0$). Note que, como $\tau < 0$ e $\Delta U < 0$, de acordo com a expressão $Q = \Delta U + \tau$, temos $Q < 0$, ou seja, o calor é liberado pelo sistema para o meio externo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

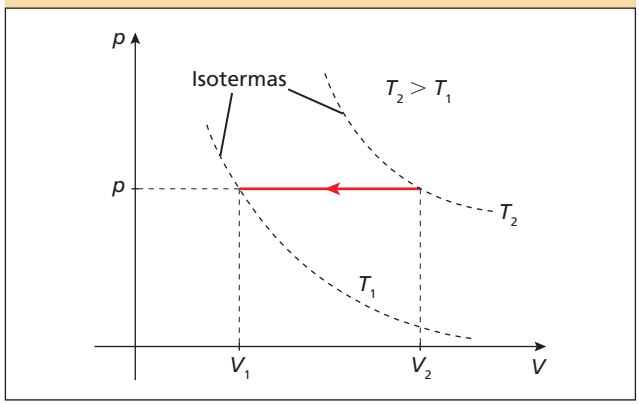
Gráfico de $p \times V$ para uma expansão isobárica



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma expansão isobárica. Nesse processo, o volume e a temperatura aumentam à pressão constante e o gás recebe calor.

Gráfico de $p \times V$ para uma compressão isobárica



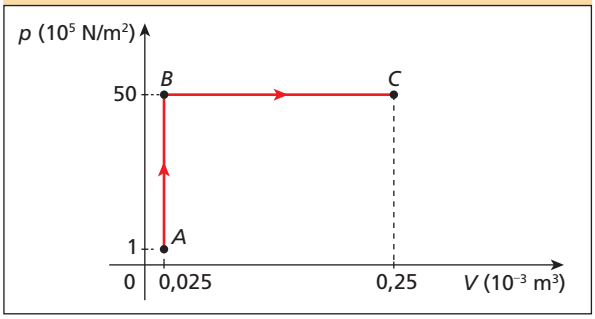
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma compressão isobárica. Nesse processo, o volume e a temperatura diminuem à pressão constante e o gás libera calor.

Exemplo

No motor de quatro tempos, há uma etapa na qual o gás contido na câmara de combustão, depois de passar por uma transformação isocórica, passa por uma transformação, isobárica, como mostra o gráfico, fora de escala, a seguir.

Gráfico de $p \times V$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* para a transformação gasosa *ABC* de certa massa de gás ideal. (Imagem sem escala.)

Qual é o trabalho realizado pelo gás ao final da transformação *ABC*?

O trabalho realizado é dado por:

$$\tau_{A \to C} = \tau_{A \to B} + \tau_{B \to C}$$

Além disso, podemos obter numericamente o trabalho pela área sob a curva de um gráfico da pressão *p* em função do volume *V*. Quando o trabalho é realizado pelo gás sobre o meio, ele é **positivo**; quando o trabalho é realizado pelo meio sobre o gás, ele é **negativo**.

Portanto, como $\Delta V_{A \to B} = 0$, temos $\tau_{A \to B} = 0$; logo:

$$\tau_{A \to C} = p_C \cdot \Delta V_{A \to C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_{A \to C} = 50 \cdot 10^5\ \text{N/m}^2 \cdot (0{,}25 \cdot 10^{-3} - 0{,}025 \cdot 10^{-3})\ \text{m}^3$$

$$\therefore \tau_{A \to C} = 11{,}25 \cdot 10^2\ \text{J ou } \tau_{A \to C} = 1.125\ \text{J}$$

Lembrando que $1\ \text{N} \cdot \text{m} = 1\ \text{J}$.

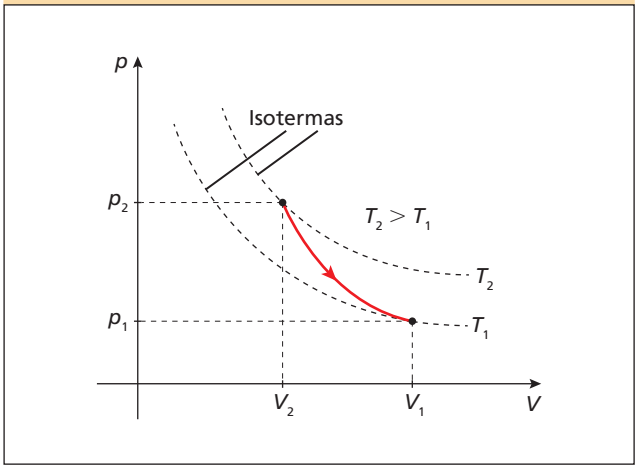
Transformação adiabática

Ao encher uma bola ou um pneu de bicicleta com uma bomba de ar manual, enquanto o volume do corpo da bomba diminui, um trabalho é realizado sobre o gás (ar interno). Considerando que cada movimento do êmbolo da bomba é suficientemente rápido para que as trocas de calor entre o ar da bomba e o meio sejam desprezíveis, temos uma **transformação adiabática**. Em transformações gasosas adiabáticas, não há troca de calor entre o sistema e o meio externo ($Q = 0$). Portanto, pela primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = -\tau$$

Em uma **expansão adiabática**, como mostra o gráfico a seguir, o volume aumenta ($\Delta V > 0$), mas a temperatura e a pressão diminuem ($\Delta T < 0$ e $\Delta p < 0$). Como o volume aumenta, o gás realiza trabalho sobre o meio ($\tau > 0$).

Gráfico de $p \times V$ para uma expansão adiabática



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma expansão adiabática. Nesse processo, sem trocas de calor, o volume aumenta, enquanto a pressão e a temperatura diminuem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao tocarmos uma lata de um produto em aerossol, por exemplo, durante a saída do produto, percebemos que sua temperatura diminui, porque ocorre uma expansão adiabática.

JACOBS STOCK PHOTOGRAPHY LTD/GETTY IMAGES

Ao se ejetar o produto acompanhado de um gás (geralmente CO_2), esse gás sofre uma súbita expansão considerada adiabática.

Nesse caso, o gás realiza trabalho sobre o meio externo à custa de sua energia interna. Com isso, a temperatura do gás remanescente no aerossol diminui, o que pode ser notado tocando-se a embalagem metálica, boa condutora de calor.

Ao empurrar o êmbolo de uma bomba de ar rápido e vigorosamente para encher um pneu de bicicleta, por exemplo, o revestimento dessa bomba se aquecerá, pois temos uma **compressão adiabática**.

VIKTORIYA KUZMENKOVA/GETTY IMAGES

As bombeadas para encher o pneu da bicicleta são muito rápidas e o ar dentro da bomba sofre compressões praticamente adiabáticas. A pessoa realiza trabalho sobre o ar, que se transforma em energia interna, esquentando o corpo da bomba.

O gráfico a seguir representa uma compressão adiabática. Nesse caso, o gás diminui de volume ($\Delta V < 0$) e o meio (operador) realiza trabalho sobre o gás ($\tau < 0$), sem trocas de calor ($Q = 0$).

Gráfico de $p \times V$ para uma compressão adiabática

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

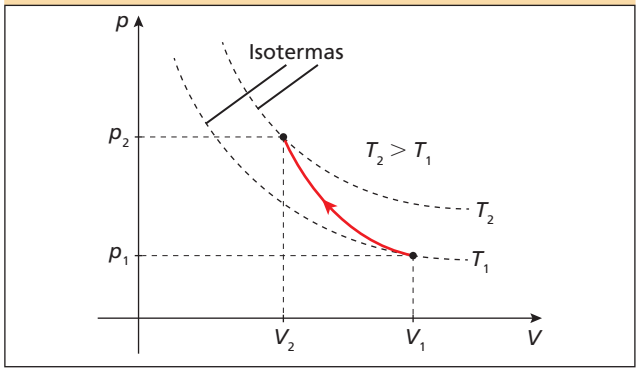


Diagrama *pV* de uma compressão adiabática. Nesse processo, o volume diminui, enquanto a pressão e a temperatura aumentam.

Pela primeira lei da Termodinâmica, temos $\Delta U = -\tau$; porém, como o trabalho é negativo, $\Delta U > 0$ e ocorre aumento da energia interna. Como a energia interna varia de acordo com a temperatura, podemos afirmar que a temperatura também aumenta. Esse aumento de temperatura pode ser notado, por exemplo, se o material que reveste a bomba não for um bom isolante térmico, pois, ao empurrar várias vezes o êmbolo, o corpo da bomba vai aquecer sensivelmente.

Exemplo

Uma amostra de gás perfeito sofre uma transformação adiabática, realizando um trabalho de 500 J, como representa o gráfico a seguir.

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação adiabática

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

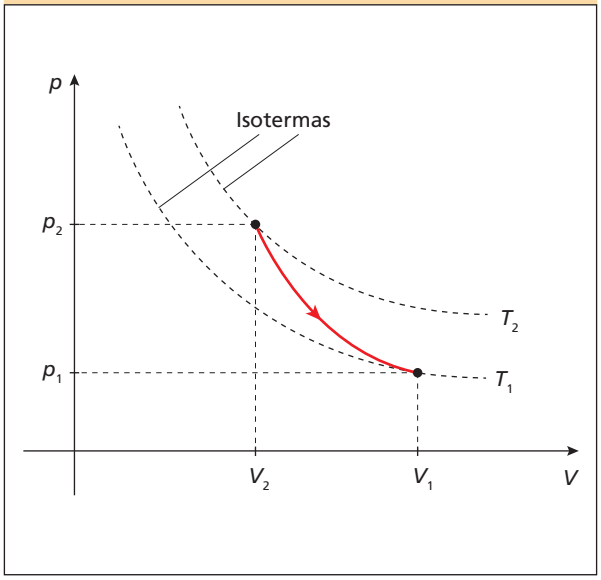


Diagrama *pV* de uma transformação adiabática.

Responda às questões a seguir.

a. O gás está se expandindo ou se contraindo?

Pelo enunciado, temos que o trabalho é realizado pelo gás, o que significa que ele sofre uma expansão. Isso também pode ser confirmado pela análise do gráfico.

b. Qual é a quantidade de calor que o gás troca com o meio?

Como a transformação é adiabática, não há troca de calor com o meio; portanto:

$$Q = 0$$

c. Qual é a variação da energia interna do gás?

Para calcularmos a variação da energia interna do gás, podemos aplicar a primeira lei da Termodinâmica.

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 0 - \tau \Rightarrow \Delta U = -\tau$$

$$\therefore \Delta U = -500 \text{ J}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

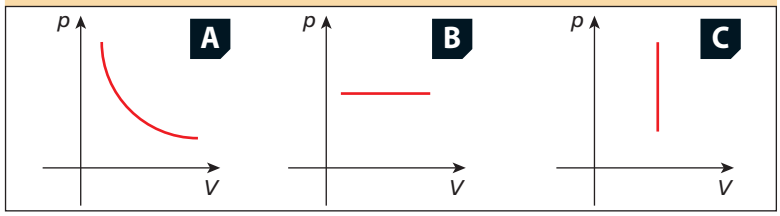
Registre em seu caderno

1. Quando podemos dizer que um gás sofreu uma transformação gasosa?

1. Quando pelo menos uma das suas variáveis de estado varia.

2. Identifique o tipo de transformação gasosa apresentada nos gráficos a seguir e justifique sua resposta. Nesses gráficos, *p* representa a pressão e *V*, o volume; já a curva que aparece no gráfico *A* é um ramo de hipérbole equilátera. 2. A - isotérmica; B - isobárica; C - isovolumétrica.

Transformações gasosas



Transformações sofridas por um gás ideal.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

3. Certa massa de gás perfeito sofre as transformações sucessivas $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$ como está indicado no gráfico da pressão *p*, em N/m², em função do volume *V*, em m³, a seguir.

A relação entre as temperaturas absolutas do gás nas situações dos pontos *A* e *C*, $\frac{T_A}{T_C}$, e o trabalho τ, em joule, realizado pela massa gasosa desde *A* até *C*, estão indicados corretamente em qual alternativa? 3. Alternativa **a**.

a. $\frac{T_A}{T_C} = \frac{4}{5}$ e $\tau = 16ab$

b. $\frac{T_A}{T_C} = \frac{5}{4}$ e $\tau = 12ab$

c. $\frac{T_A}{T_C} = \frac{4}{5}$ e $\tau = 12ab$

d. $\frac{T_A}{T_C} = \frac{3}{2}$ e $\tau = 16ab$

e. $\frac{T_A}{T_C} = \frac{2}{3}$ e $\tau = 18ab$

Gráfico de $p \times V$

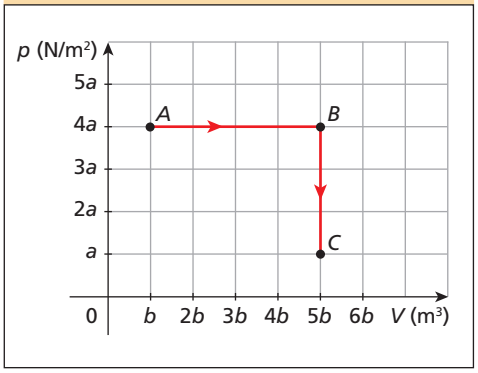


Diagrama *pV* para a transformação gasosa *ABC* de certa massa de gás perfeito.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Um gás ideal sob pressão de 10^5 Pa está inicialmente contido em um cilindro rígido de êmbolo móvel (sem atrito) e ocupa um volume de 2 L. Esse gás é aquecido e sofre uma expansão isobárica até seu volume duplicar. Qual é o trabalho, em joule, realizado pela força que o gás exerce para deslocar o êmbolo? 4. 200 J

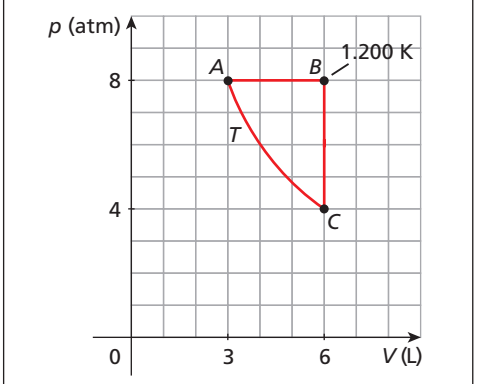
5. Considere o gráfico a seguir para responder às questões.

Sabendo-se que o trecho curvo *CA* é um arco de hipérbole equilátera, qual transformação gasosa está ocorrendo nos casos a seguir? Justifique sua resposta.

a. Trecho *AB*.
b. Trecho *BC*.
c. Trecho *AC*.
d. Qual é a temperatura absoluta do gás nos pontos *A* e *C*?

5. a. Transformação isobárica.
5. b. Transformação isovolumétrica.
5. c. Transformação isotérmica.
5. d. 600 K

Diagrama *pV* de uma transformação gasosa



Transformações sofridas por um gás ideal.

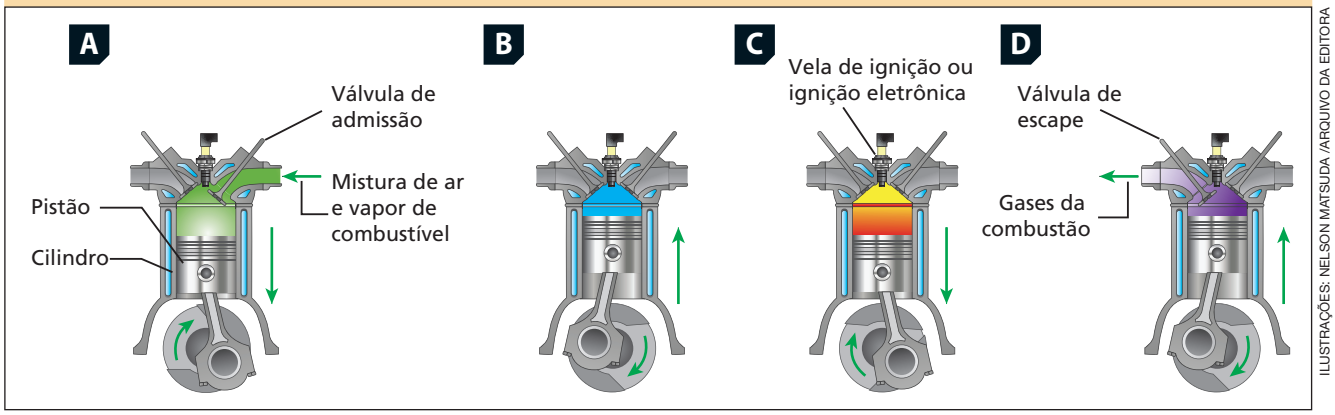
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ciclos termodinâmicos

O motor térmico ou a combustão de um automóvel, também conhecido como motor a explosão, funciona com base em um ciclo termodinâmico por meio da queima de um combustível e da geração de um gás na câmara de combustão. A maioria dos carros atuais utiliza um motor de quatro tempos, uma vez que ocorre num ciclo termodinâmico em quatro etapas:

1. admissão: o pistão se move para baixo e uma mistura de ar e vapor de combustível é injetada através de uma válvula de admissão (figura A);
2. compressão: o pistão se move para cima, comprimindo a mistura ar-vapor de combustível (figura B);
3. expansão: uma vela de ignição ou outro sistema eletrônico igualmente eficaz provoca uma faísca elétrica, causando a explosão da mistura, o que empurra o pistão subitamente para baixo (figura C);
4. exaustão: o pistão sobe e os gases e resíduos da combustão são expelidos pela válvula de escape (figura D).

Etapas de funcionamento de um motor de quatro tempos



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA /ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Etapas de funcionamento de um motor de quatro tempos: **(A)** admissão, **(B)** compressão, **(C)** expansão e **(D)** exaustão. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

BET_NOIRE/GETTY IMAGES

Pistões e eixo virabrequim do motor de automóvel.

O engenheiro alemão Nikolaus Otto (1832-1891) foi o primeiro a construir um motor com base nesse ciclo, hoje conhecido como **ciclo de Otto**.

No motor, os cilindros contêm os pistões, que se movem para cima e para baixo devido à compressão e à expansão da mistura de ar e vapor de combustível. O movimento linear repetido desses pistões é transformado em movimento rotacional por uma peça chamada virabrequim, conectada aos pistões.

O movimento rotacional é então transferido ao eixo conectado às rodas do carro, fazendo-as girar, provocando o movimento do veículo. Para que isso aconteça, parte do gás é expelida pelo escapamento e a operação se reinicia dentro dos pistões ao fim de cada processo, ou seja, ocorre uma sucessão de transformações cíclicas.

Um **ciclo termodinâmico** é realizado quando um gás parte de um estado inicial e retorna a esse mesmo estado após uma sequência de transformações, ou seja, as variáveis de estado pressão, volume e temperatura do estado inicial coincidem com as do estado final.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como as temperaturas inicial e final em um ciclo são iguais, a variação de energia interna nesse ciclo é nula, ou seja:

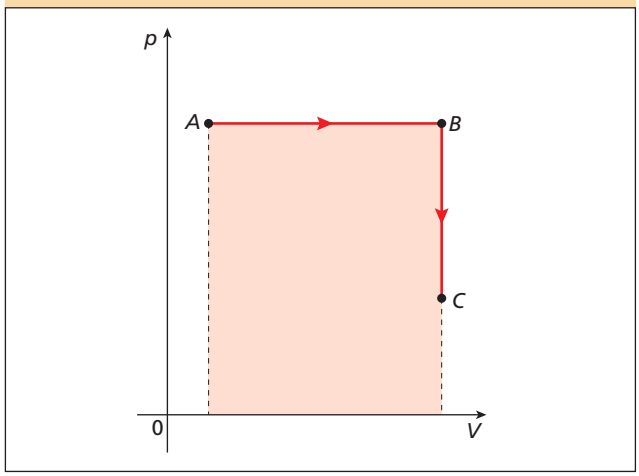
$$\Delta U_{ciclo} = 0$$

Assim, o trabalho total é igual ao calor trocado com o meio. Por ser um ciclo, o trabalho total é a soma algébrica do trabalho de cada uma das etapas que compõem esse ciclo. Isso também vale para o calor trocado no ciclo, ou seja, ele é a soma algébrica das quantidades de calor trocadas em cada transformação desse ciclo.

Em um gráfico de pressão em função do volume, também chamado de **diagrama *pV*** ou **diagrama de Clapeyron**, a área embaixo das curvas que correspondem às transformações é numericamente igual ao trabalho envolvido.

Admitamos que um gás perfeito vá realizar uma transformação cíclica (fechada) *ABCDA*, conforme indicam os gráficos $p \times V$ a seguir.

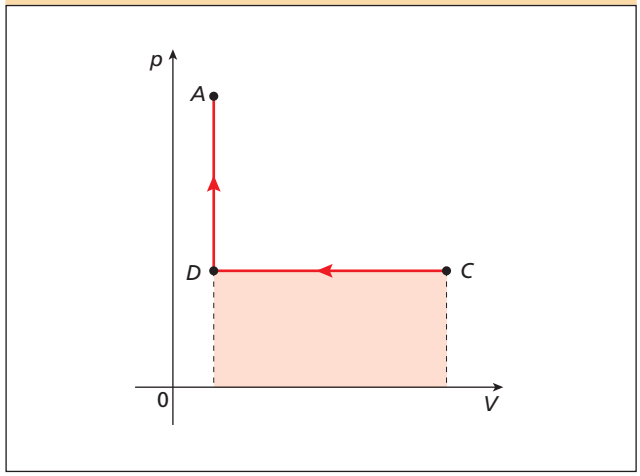
Gráfico de $p \times V$ para a transformação *ABC*



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* para a transformação *ABC* de certa massa de gás ideal. De *A* para *B*, ocorre uma expansão isobárica e de *B* para *C*, uma transformação isovolumétrica.

Gráfico de $p \times V$ para as transformações *CD* e *DA*



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* para as transformações *CD* e *DA* de certa massa de gás ideal. De *C* para *D* ocorre uma compressão isobárica e de *D* para *A*, uma transformação isovolumétrica.

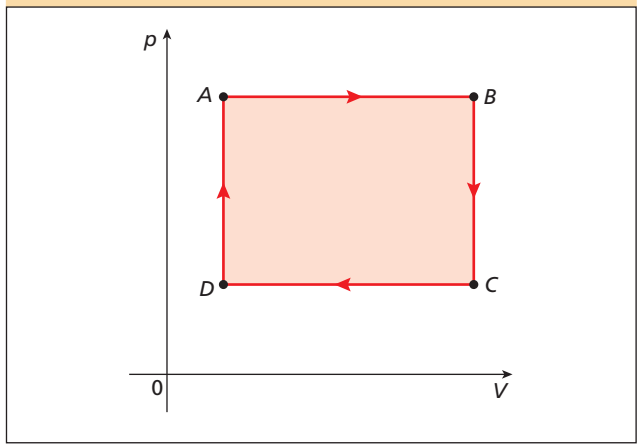
Note, pela comparação das áreas sob os respectivos gráficos, que o módulo do trabalho realizado pelo gás na transformação *AB* é maior que o módulo do trabalho recebido pelo gás na transformação *CD*. Já nas transformações *BC* e *DA*, o trabalho é nulo, pois essas transformações são isovolumétricas.

Comparando os valores numéricos dos trabalhos, percebemos que o trabalho na transformação *AB* é positivo, pois ocorre uma expansão. Já na transformação *CD*, o valor numérico do trabalho é negativo, pois ocorre uma compressão.

No total, pode-se verificar que o trabalho realizado no ciclo *ABCDA* é numericamente igual ao valor da área interna do ciclo, isto é, da área abrangida pelo retângulo apresentado.

Se o ciclo termodinâmico for percorrido em **sentido horário**, o trabalho que o gás realiza na expansão tem módulo maior que o trabalho recebido pelo gás na compressão e, por isso, o trabalho total no ciclo é positivo ($\tau > 0$).

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação cíclica



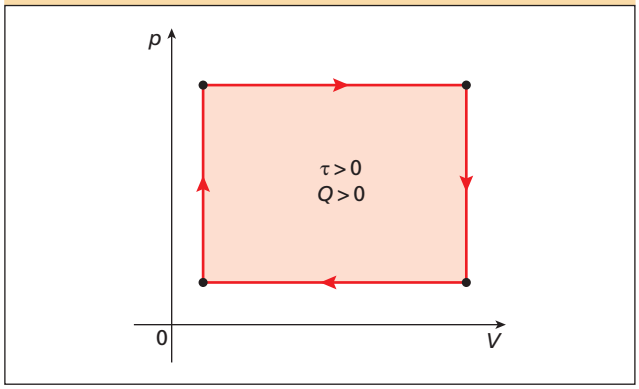
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma transformação cíclica (ou fechada). A área interna do retângulo *ABCD* é numericamente igual ao trabalho total trocado no ciclo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Como a quantidade de calor trocada, Q, é igual ao trabalho total, ambos terão o mesmo sinal. Assim, podemos dizer que o gás recebe calor do meio ($Q > 0$) e realiza trabalho sobre o meio, ou seja, há uma conversão de calor (energia térmica) em trabalho (energia mecânica). Os dispositivos que fazem essa conversão são conhecidos como **máquinas térmicas**.

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação cíclica



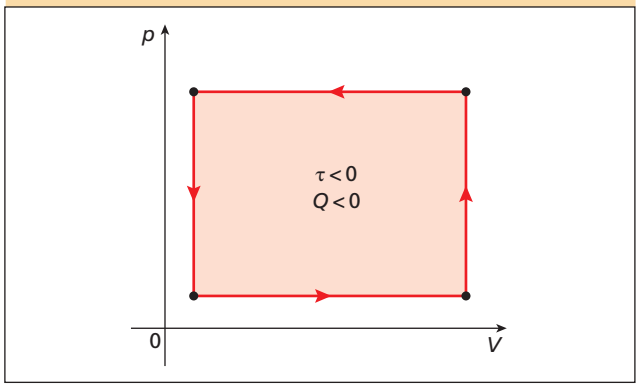
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Diagrama *pV* de uma transformação cíclica no sentido horário.

Locomotivas a vapor, motores a combustão de veículos, como carros, tratores, caminhões, ônibus, motos e usinas termoelétricas, são exemplos de máquinas térmicas.

Se, entretanto, o ciclo termodinâmico se desenvolver no **sentido anti-horário**, o trabalho total será negativo ($\tau < 0$), pois o trabalho realizado sobre o gás durante a compressão é negativo e tem módulo maior que o trabalho realizado pelo gás durante sua expansão. Assim, o gás recebe trabalho do meio ($\tau < 0$) e fornece calor para o meio ($Q < 0$). Há, portanto, conversão de trabalho, na forma de energia mecânica, em calor, na forma de energia térmica.

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação cíclica



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

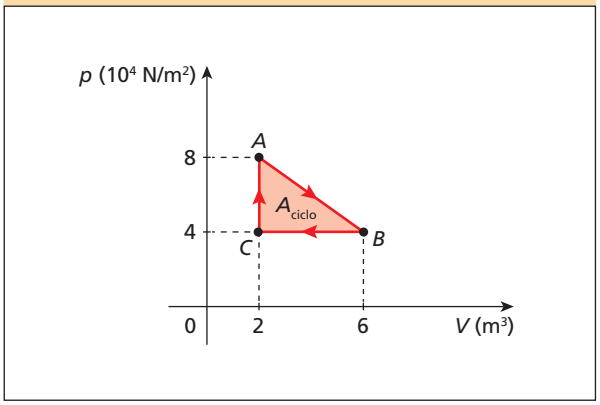
Diagrama *pV* de uma transformação cíclica no sentido anti-horário.

Dispositivos que fazem esse tipo de conversão são chamados de **máquinas frigoríficas**. Geladeiras e *freezers* são exemplos de máquinas frigoríficas.

Exemplo

Uma máquina térmica opera em transformações cíclicas de um gás ideal segundo o diagrama *pV* a seguir.

Gráfico de $p \times V$ para uma transformação cíclica



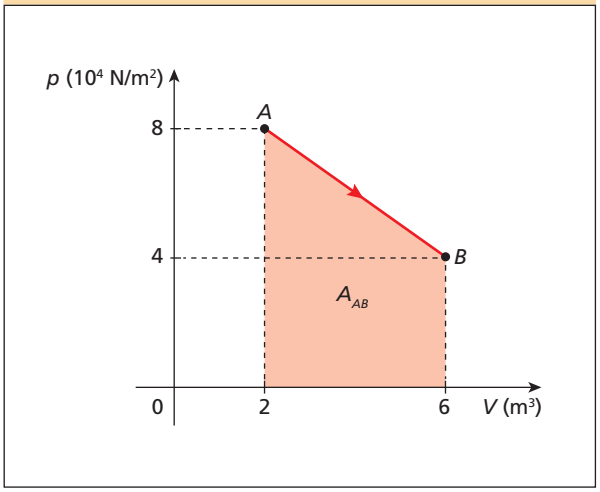
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ciclo termodinâmico *ABC* no sentido horário.

a. Qual é o trabalho realizado nas transformações *AB*, *BC* e *CA*?

O trabalho realizado na transformação *AB* é numericamente igual à área abaixo da curva (trapézio) correspondente à transformação, como indicado no gráfico a seguir.

Diagrama *pV* da transformação *AB*



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

De *A* para *B* ocorre uma expansão.

O valor do trabalho é positivo, pois ocorre uma expansão; portanto, temos:

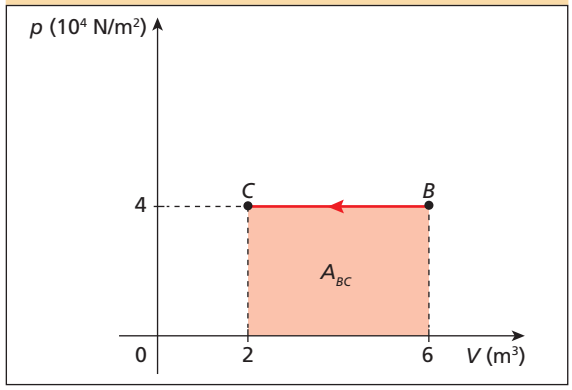
$$\tau_{AB} \overset{N}{=} A_{AB} \Rightarrow \tau_{AB} = \frac{(8+4) \cdot 10^4 \cdot 4}{2}$$

$$\therefore \tau_{AB} = 24 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O trabalho na transformação *BC* também é numericamente igual à área abaixo da curva (retângulo), como mostrado no gráfico a seguir.

Diagrama *pV* da transformação *BC*



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

De *B* para *C* ocorre uma contração.

O valor do trabalho é negativo, pois ocorre uma contração; portanto, temos:

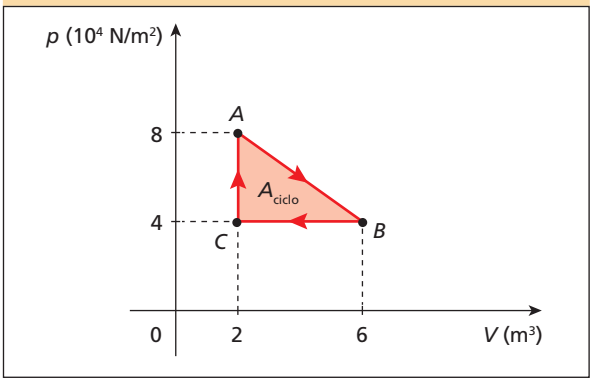
$\tau_{BC} \overset{N}{=} A_{BC} \Rightarrow \tau_{BC} = -4 \cdot 4 \therefore \tau_{BC} = -16 \cdot 10^4$ J

Na transformação *CA*, nenhum trabalho é realizado, já que não há variação de volume (não ocorre nem expansão nem compressão do gás); logo, $\tau_{CA} = 0$.

b. Quais são o trabalho realizado e a quantidade de calor trocada em um ciclo?

O trabalho realizado no ciclo é numericamente igual à área do triângulo e é positivo, pois o ciclo se desenvolve no sentido horário.

Diagrama *pV* da transformação cíclica *ABC*



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A área interna do triângulo *ABC* é numericamente igual ao trabalho.

$$\tau_{ciclo} \overset{N}{=} A_{ciclo} \Rightarrow \tau_{ciclo} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 4}{2} \therefore \tau_{ciclo} = 8 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Como em um ciclo não há variação de energia interna ($\Delta U = 0$), pela primeira lei da Termodinâmica, temos:

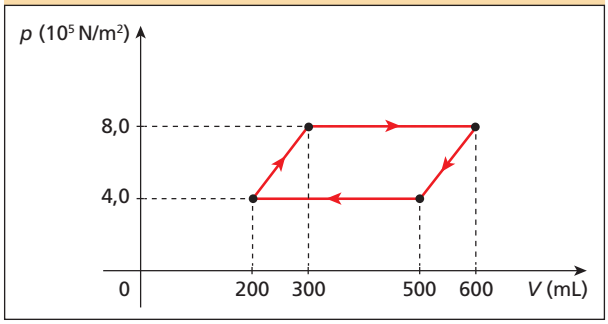
$$\tau_{ciclo} = Q_{ciclo} \therefore Q_{ciclo} = 8 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Note que esse mesmo resultado poderia ser obtido por meio da adição algébrica dos trabalhos nos trechos *AB*, *BC* e *CD*.

ATIVIDADE COMENTADA

Um motor a combustão é dotado de quatro cilindros que obedecem ao ciclo termodinâmico aproximado em forma de paralelogramo, dado pelo gráfico da pressão (*p*) em função do volume (*V*) a seguir. Se cada cilindro desse motor realiza em cada segundo esse ciclo a partir de um de seus pontos, qual é o trabalho fornecido pelo motor durante 1 minuto?

Gráfico de $p \times V$ para um ciclo termodinâmico



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

O ciclo termodinâmico tem a forma de um paralelogramo.

Analisar o enunciado

Cada cilindro do motor realiza um ciclo termodinâmico, que é percorrido no sentido horário, indicando que o gás em seu interior realiza trabalho ($\tau > 0$), que é utilizado em parte para produzir movimento. O trabalho realizado em cada cilindro em um segundo pode ser calculado pela área interna do ciclo, isto é, pela área do paralelogramo.

Selecionar as informações relevantes

Antes do cálculo da área, porém, vamos transformar as unidades de volume, dadas no gráfico em mL, para o SI, isto é, para m^3. Para isso, basta multiplicar os valores indicados no eixo horizontal por 10^{-6}.

Aplicar o conceito estudado

Com isso, o trabalho será medido diretamente em J ou N · m.

$\tau_{ciclo} \overset{N}{=} A_{ciclo} = \text{base} \cdot \text{altura} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{ciclo} = (500 - 200) \cdot 10^{-6} \cdot (8{,}0 - 4{,}0) \cdot 10^5 \therefore \tau_{ciclo} = 120$ J

Como são quatro cilindros:

$$\tau = 4 \cdot \tau_{ciclo} = 4 \cdot 120 \text{ J} \therefore \tau = 480 \text{ J}$$

Durante 1 minuto:

$\tau_{total} = 60 \cdot \tau \Rightarrow \tau_{total} = 60 \cdot 480$ J

$\therefore \tau_{total} = 28.800$ J ou $\tau_{total} = 28{,}8$ kJ

Verificar a solução

Ao realizar os cálculos para o trabalho total em 60 minutos, obtivemos o resultado de 28,8 kJ, que corresponde ao trabalho total do motor durante o citado intervalo de tempo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Segunda lei da Termodinâmica

Sabemos que um cubo de gelo derrete quando deixado em um copo vazio exposto ao ambiente a 20 °C. No entanto, o contrário não ocorre, ou seja, um cubo de gelo derretido não volta à forma original sem que haja interferência externa. Da mesma maneira, também não é esperado que dois objetos em contato e em equilíbrio térmico, isto é, com a mesma temperatura, voltem espontaneamente à situação anterior à do equilíbrio térmico, quando um estava mais frio e o outro, mais quente. Esses são exemplos de sistemas que não podem retornar espontaneamente à situação inicial e que caracterizam processos naturais chamados **irreversíveis**.

Apesar de essas situações não ocorrerem de maneira inversa, ou seja, o gelo derretido voltar à forma original ou os objetos voltarem a ter as temperaturas diferentes iniciais sem interferência externa, elas são possíveis se considerarmos somente a primeira lei da Termodinâmica.

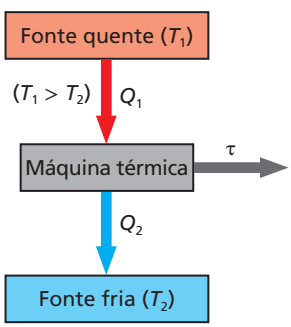
Assim, temos a segunda lei da Termodinâmica, que explica como os processos naturais devem ocorrer na natureza. A segunda lei foi enunciada pelo físico alemão Rudolf Clausius (1822-1888) e diz: "É impossível construir um dispositivo que, sem interferência externa, transfira calor espontaneamente de um corpo de menor temperatura a um corpo de maior temperatura".

Com base nesse enunciado, estabeleceu-se uma relação com as máquinas térmicas para indicar que é impossível construir uma máquina térmica ideal.

O físico britânico William Thomson (1824-1907), mais conhecido como Lorde Kelvin, e o físico alemão Max Planck (1858-1947) propuseram outro enunciado para a segunda lei da Termodinâmica: "É impossível que uma máquina térmica operando em ciclos remova a energia de um sistema e a converta integralmente em trabalho". De acordo com essa afirmação, é impossível construir uma máquina que atinja 100% de rendimento.

Rendimento e eficiência

Para compreendermos o conceito de rendimento e eficiência, vamos considerar uma máquina térmica que recebe uma quantidade de calor (Q_1) de uma fonte quente e converte parcialmente essa energia em trabalho (τ). Uma parte do calor é rejeitada (Q_2), sendo transferida para uma fonte fria, como mostra o esquema a seguir.



A fonte quente fornece uma quantidade de calor (Q_1) para a máquina térmica, que a converte parcialmente em trabalho (τ) e cede uma quantidade de calor (Q_2) para a fonte fria.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Dizemos que a conversão de energia é parcial porque, de acordo com a segunda lei da Termodinâmica, uma máquina térmica operando em ciclos não pode remover a energia de um sistema e convertê-la integralmente em trabalho. Para quantificarmos essa conversão, utilizamos uma grandeza adimensional conhecida como **rendimento (η)**, definida como a razão entre o trabalho realizado pela máquina (τ) e a quantidade de calor fornecida pela fonte quente (Q_1):

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1}$$

A expressão obtida para o rendimento também pode ser expressa em função das quantidades de calor Q_1 e Q_2, já que o trabalho realizado pela máquina térmica é dado pela diferença entre as quantidades de calor da fonte quente e da fonte fria ($\tau = Q_1 - Q_2$); portanto:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Exemplo

Uma máquina térmica recebe a cada ciclo 600 J de uma fonte quente e rejeita 282 J para uma fonte fria. Qual é o rendimento dessa máquina?

Primeiro, vamos calcular o trabalho realizado, dado pela diferença entre as quantidades de calor das fontes quente e fria.

$$\tau = Q_1 - Q_2 \Rightarrow \tau = 600\ \text{J} - 282\ \text{J} \therefore \tau = 318\ \text{J}$$

Então, com base na definição de rendimento, temos:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{318\ \text{J}}{600\ \text{J}} \therefore \eta = 0{,}53 = 53\%$$

Em relação à máquina frigorífica, ela transfere calor de uma fonte fria para uma fonte quente ao receber trabalho de uma fonte externa, ou seja, converte trabalho em calor. Então, podemos dizer que uma máquina frigorífica retira uma quantidade de calor (Q_2) da fonte fria e rejeita para a fonte quente uma quantidade de calor (Q_1), que é igual à soma da quantidade de calor Q_2 com o trabalho externo τ, ou seja, $Q_1 = \tau + Q_2$.

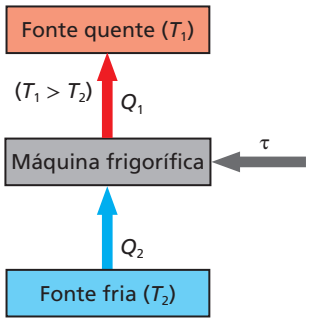
Isso parece contrariar o sentido natural da transferência de calor de um corpo mais quente para outro mais frio, porém a transferência não ocorre de maneira espontânea, sendo necessária uma fonte externa que forneça trabalho para realizar o resfriamento. Em geladeiras, por exemplo, o dispositivo responsável por fornecer trabalho é chamado de compressor.

Para uma máquina frigorífica, em vez de rendimento, definimos a **eficiência (*e*)** da máquina como a razão entre a quantidade de calor Q_2, retirada da fonte fria, e o trabalho externo τ; assim:

$$e = \frac{Q_2}{\tau}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Note que o valor da eficiência *e* pode ser maior que 1, diferente do rendimento da máquina térmica.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ao receber trabalho de uma fonte externa, a máquina frigorífica transfere uma quantidade de calor (Q_1) a uma fonte quente, após retirar uma quantidade de calor (Q_2) de uma fonte fria.

Exemplo

Um compressor retira 200 J de energia térmica do interior de um *freezer* e cede, em cada ciclo, 250 J para o ambiente externo. Qual é o trabalho fornecido por esse compressor em cada ciclo e qual é a eficiência do *freezer*?

O trabalho pode ser calculado por:

$$\tau = Q_1 - Q_2 \Rightarrow \tau = 250\ \text{J} - 200\ \text{J} \therefore \tau = 50\ \text{J}$$

Então, com base na definição de eficiência, temos:

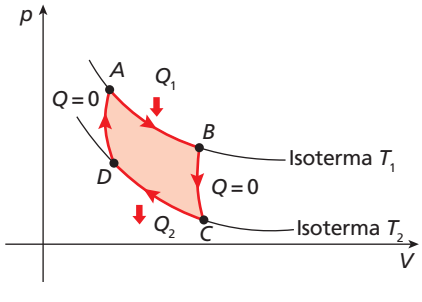
$$e = \frac{Q_2}{\tau} \Rightarrow e = \frac{200\ \text{J}}{50\ \text{J}} \therefore e = 4$$

Ciclo de Carnot

Estudamos que é impossível construir uma máquina térmica que tenha 100% de rendimento. No entanto, qual é o rendimento máximo que uma máquina térmica pode atingir? O engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) formulou em 1824 uma sequência de transformações gasosas que formam um ciclo reversível, ou seja, que pode ser percorrido tanto em um sentido quanto no sentido oposto com máximo rendimento. Esse ciclo ficou conhecido como **ciclo de Carnot**, e chamamos de **máquina de Carnot** qualquer máquina térmica hipotética (ideal) que segue esse ciclo.

O ciclo de Carnot é formado por duas transformações isotérmicas (*AB* e *CD*) alternadas com duas transformações adiabáticas (*BC* e *DA*), como indica a o diagrama a seguir.

Diagrama *pV* do ciclo de Carnot



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ciclo de Carnot formado por duas isotermas e duas adiabáticas.

No ciclo de Carnot, as quantidades de calor trocadas com a fonte fria (Q_2), que está à temperatura T_2, e com a fonte quente (Q_1), que está à temperatura T_1, são proporcionais.

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

Aplicando essa relação de proporcionalidade na expressão para o rendimento de uma máquina térmica genérica, o rendimento da máquina de Carnot é:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Analisando a expressão obtida, percebemos que o rendimento de uma máquina de Carnot depende apenas das temperaturas absolutas das fontes quente e fria. Além disso, quanto maior a diferença de temperatura entre as fontes, maior será o rendimento da máquina de Carnot.

Note que, para obter um rendimento de 100%, o valor de T_2 deveria ser o zero absoluto, ou seja, a fonte fria deveria estar a 0 K. Porém, como pela segunda lei da Termodinâmica não há máquinas térmicas com rendimento de 100%, o zero absoluto é, pela teoria, impossível de ser atingido.

O ciclo de Carnot é um ciclo idealizado, hipotético. Isso significa que não é possível desenvolver uma máquina térmica que tenha transformações perfeitamente adiabáticas e outras perfeitamente isotérmicas. Essas limitações se refletem na lentidão com que ocorrem as transformações isotérmicas; logo, a velocidade de um veículo que utilizasse o ciclo de Carnot em vez do ciclo de Otto seria tão ou menos intensa que a de um pedestre.

Exemplo

Uma máquina térmica opera de acordo com o ciclo de Carnot entre uma fonte fria com temperatura de 520 K e uma fonte quente com temperatura de 650 K. Qual é o rendimento dessa máquina?

Considerando o rendimento de um ciclo de Carnot, temos:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{520\ \text{K}}{650\ \text{K}} \therefore \eta = 0{,}2 = 20\%$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EM FOCO A evolução tecnológica das máquinas térmicas

Há registros de que na Grécia antiga já se idealizava o aproveitamento do vapor para a realização de trabalho. A ilustração a seguir representa uma máquina térmica projetada pelo matemático e mecânico grego Heron de Alexandria (10 d.C.–70 d.C.). Nela, o aquecimento da água em uma caldeira liberava vapores que, expelidos em alta pressão, eram capazes de produzir a rotação da esfera.

Eolípila

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

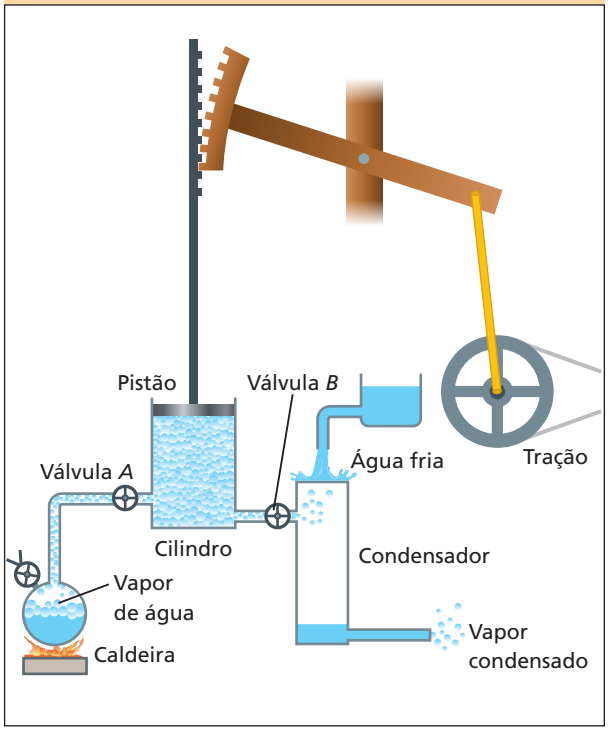
Fonte: elaborado com base em EDITORES da enciclopédia Britannica. Aeolipile. **Enciclopédia Britannica**, [*S. l.*], 6 jun. 2016. Disponível em: https://www.britannica.com/technology/aeolipile. Acesso em: 20 set. 2024.

A máquina térmica de Heron de Alexandria, a eolípila, é uma das primeiras do gênero de que se tem registro. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Foi somente no século XVIII, no entanto, que as primeiras máquinas a vapor foram desenvolvidas para realizar trabalho mecânico, acionando bombas hidráulicas, teares e veículos, como tratores, navios e locomotivas.

O britânico Thomas Newcomen (1662-1729) construiu uma máquina de baixíssimo rendimento para retirar água em minas de carvão. Porém, ela foi logo descartada por implicar altos custos de operação. Foi o escocês James Watt (1736-1819) quem aperfeiçoou a máquina de Newcomen, projetando modelos sucessivamente melhores que logo tiveram vasta utilização, especialmente no Reino Unido, operando no campo e nas indústrias urbanas. Em pouco tempo, havia mais de 10.000 máquinas térmicas com empregabilidade diversa, o que deu origem a um movimento tecnológico e social de grande importância histórica: a Primeira Revolução Industrial.

Esquema de uma máquina térmica de Watt



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em LIRA, C. T. **Brief History of the Steam Engine**. [*S. l.*], 21 maio 2013. Disponível em: https://www.egr.msu.edu/~lira/supp/steam/. Acesso em: 20 set. 2024.

Projeto de Watt para uma máquina térmica. Nessa máquina, o vapor produzido pela água em ebulição em uma caldeira acionava uma roda, realizando trabalho mecânico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

As máquinas térmicas de Watt serviram de base para que, em 1807, o estadunidense Robert Fulton (1765-1815) projetasse o primeiro navio a vapor comercialmente bem-sucedido e, em 1814, o inglês George Stephenson (1781-1848), conhecido como o pai dos caminhos de ferro britânicos, construísse uma locomotiva razoavelmente viável para puxar comboios. Esses inventos contribuíram para a ascensão dos meios de transporte no século XIX.

No Brasil, a primeira locomotiva a vapor circulou pela primeira vez em 30 de abril de 1854, inaugurando a Imperial Companhia de Navegação a Vapor e Estrada de Ferro de Petrópolis, no Rio de Janeiro. Essa foi a primeira ferrovia brasileira, fundada pelo empreendedor e industrial Irineu Evangelista de Souza (1813-1889), conhecido como Barão e Visconde de Mauá, responsável por iniciativas que modernizaram e alavancaram a economia do Brasil na época.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MEMORIAL DO TRANSPORTE BRASILEIRO

Locomotiva Baroneza. A primeira locomotiva a vapor do Brasil, produzida na Inglaterra, foi guiada por Visconde de Mauá em um trecho de 14,5 km em sua viagem inaugural, atingindo a velocidade de 36 km/h (século XIX).

As máquinas térmicas atuais incluem motores utilizados em caminhões, ônibus, tratores, colheitadeiras, automóveis, motocicletas e aviões, entre outras. A concepção em relação às máquinas do passado é, todavia, a mesma: calor realizando trabalho. Muitas diferenças e progressos, no entanto, são notórios nessa comparação. Hoje, os combustíveis deixaram de ser primordialmente o carvão, e as máquinas passaram a utilizar os derivados do petróleo ou combustíveis fósseis, entre outros. Novos materiais são utilizados e novos projetos de máquinas térmicas foram desenvolvidos, tendo as máquinas atuais rendimento muito maior do que as do século XVIII.

No entanto, juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias, a emissão de gases poluentes com a queima de combustíveis fósseis se tornou um problema ambiental. Assim, fez-se necessário o desenvolvimento de sistemas termodinâmicos que combinassem alto rendimento e a preocupação com o ambiente. Com isso, foram desenvolvidas tecnologias como motores híbridos, aquecedores solares e sistemas de recuperação de calor, aplicados em diversas indústrias e setores de transporte.

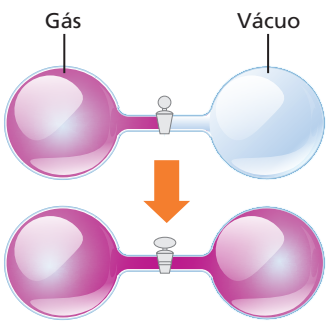
1. Os gases e vapores que servem de fluidos operantes nas máquinas térmicas passam em cada ciclo por diversas transformações, entre elas, isotérmicas, isocóricas, isobáricas e adiabáticas. Entre as citadas, qual é a mais rápida?
2. As máquinas térmicas que utilizam derivados de petróleo para seu funcionamento contribuem para emissões de CO_2 (gás carbônico), um dos gases que agravam o aquecimento global. Em grupo com dois colegas, pesquisem os combustíveis alternativos aos combustíveis fósseis que vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de gerar menos impactos ambientais e, com base em argumentos científicos, escrevam as vantagens e desvantagens da utilização desses combustíveis.
3. Pesquise exemplos e aplicações que utilizem tecnologias atuais desenvolvidas para minimizar a emissão de poluentes e aumentar a eficiência energética alinhando-se à busca por soluções sustentáveis no combate às mudanças climáticas e na preservação ambiental.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entropia

Imagine dois reservatórios de gás interligados por uma válvula, um deles com gás e o outro em vácuo. Ao abrir a válvula, a tendência natural é que o gás ocupe todo o espaço dos dois reservatórios. Portanto, não existe uma tendência natural e espontânea que faça o gás ficar restrito a um dos reservatórios, ou seja, o esperado é que um sistema mais ordenado, como os reservatórios separados, atinja um estado menos ordenado, e não o contrário.

Processos assim são chamados **irreversíveis**. Pode-se dizer que todos os fenômenos da natureza são irreversíveis, pois a energia útil neles disponível para a realização de trabalho tende sempre a diminuir, ou seja, processos reversíveis são idealizações que não ocorrem na natureza, nem de maneira espontânea. Assim, em qualquer sistema ou fenômeno sempre há perda de energia útil.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do processo de expansão de um gás para ocupar os dois reservatórios. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A entropia aumenta conforme a desordem dos sistemas aumenta. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Clausius, no início da segunda metade do século XIX, definiu a grandeza **entropia** como uma característica intrínseca de qualquer sistema e que aumenta à medida que a desordem nos sistemas aumenta. Como todos os fenômenos naturais têm a tendência de alcançar um estado de menor ordenação, dizemos que existe uma tendência de aumento da entropia nesses sistemas e no próprio Universo.

A variação de entropia ΔS envolvida em um processo muito lento é matematicamente definida pela razão entre a quantidade de calor Q trocada no processo e a temperatura absoluta T em que esse processo ocorre; portanto:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a variação de entropia é expressa por J/K. Note que a variação da entropia entre um estado final e um estado inicial sempre deve ser positiva, pois é uma grandeza que aumenta com o tempo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

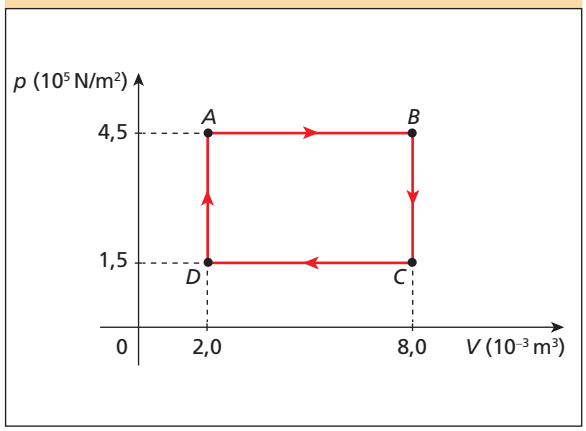
7. Quando essas variáveis, em seu estado inicial, coincidem novamente com as do estado final.

Registre em seu caderno

6. Determinada massa de gás perfeito confinada em um cilindro hermeticamente fechado realiza o ciclo termodinâmico *ABCDA* descrito pelo gráfico $p \times V$ a seguir. Esse ciclo tem forma retangular, com dois lados paralelos ao eixo p e dois lados paralelos ao eixo V.

Gráfico de $p \times V$ para um ciclo termodinâmico

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



O ciclo termodinâmico tem a forma de um retângulo.

6. a. A→B: isobárica; B→C: isométrica; C→D: isobárica; D→A: isométrica

Sabendo-se que a temperatura absoluta do gás no ponto *A* é $T_A = 900$ K, faça o que se pede.

a. Classifique como isotérmica, isocórica, isobárica ou adiabática as transformações sofridas pelo gás respectivamente nos trechos $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$ e $D \rightarrow A$.

b. Determine a temperatura absoluta T_C do gás no ponto *C*. 6. b. 1.200 K

c. Calcule o trabalho realizado pelo gás ao percorrer o ciclo *ABCDA* uma vez e a variação de energia interna nesse percurso. 6. c. 1,8 kJ; a variação de energia interna é nula.

7. Considerando as variáveis de estado pressão (p), volume (V) e temperatura (T), quando se pode dizer que um ciclo termodinâmico de um sistema gasoso foi realizado?

8. Qual seria o rendimento de uma máquina térmica de Carnot se seus reservatórios estivessem à mesma temperatura? E se a fonte fria estivesse a 0 K?

8. Nulo e 100%.

9. Qual é o rendimento máximo possível para uma máquina térmica cuja fonte quente está à temperatura de 2.700 K e a fonte fria a 270 K? 9. 90%

10. De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, "não pode existir um processo cujo único resultado seja a transferência espontânea de calor de uma fonte fria para outra mais quente". Como um aparelho de ar condicionado pode funcionar sem violar essa lei?

10. Por não ser um sistema isolado.

11. A respeito do ciclo de Carnot, classifique as afirmações a seguir em correta ou incorreta. Corrija no caderno as sentenças incorretas. 11. I. incorreta; II. incorreta; III. correta; IV. incorreta; V. incorreta

I. Na compressão adiabática, a energia interna do gás diminui.

II. Na expansão isotérmica, o gás não recebe calor.

III. Na expansão adiabática, a temperatura do gás diminui.

IV. Na compressão isotérmica, o trabalho é positivo.

V. Na compressão isotérmica, a variação de energia interna do gás não é nula.

12. Aumentando.

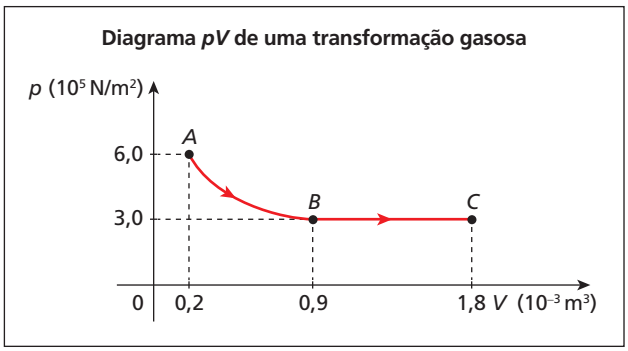
12. Conforme as teorias mais aceitas, desde o Big Bang o Universo está se expandido e esfriando. Estima-se que a temperatura do Universo há 13,8 bilhões de anos era de 10^{32} K, verificando-se hoje, por meio da radiação cósmica de fundo, uma temperatura de apenas 2,7 K. O que está ocorrendo com a entropia do Universo: está aumentando ou diminuindo?

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Determinada massa de um gás ideal monoatômico está confinada em um recipiente cilíndrico munido de um êmbolo móvel e sofre a transformação *ABC* indicada no diagrama *pV* a seguir.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Transformação sofrida por um gás ideal.

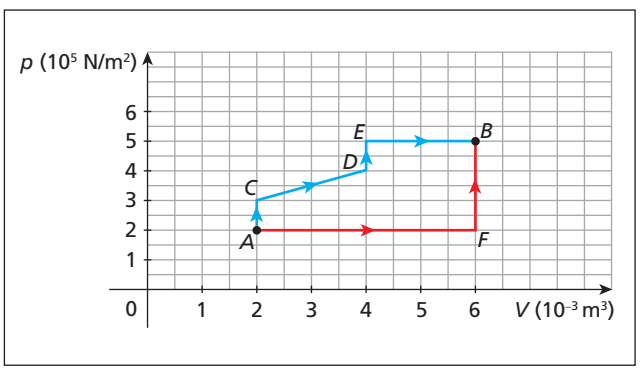
Para produzir essa transformação, 1.000 J de energia em forma de calor foram fornecidos a esse sistema, dos quais 360 J transformaram-se em energia interna do gás.

Desprezando-se todas as perdas de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás na transformação *AB* foi de: 1. Alternativa **b**.

a. 180 J
b. 370 J
c. 510 J
d. 640 J
e. 720 J

2. (Unifesp-SP) Uma massa constante de gás ideal pode ser levada de um estado inicial *A* a um estado final *B* por dois processos diferentes, indicados no diagrama *pV*.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



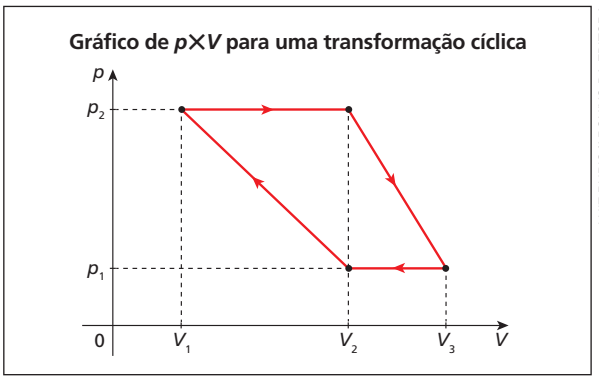
Para ocorrer, a transformação *ACDEB* exige uma quantidade Q_1 de calor e a transformação *AFB* exige uma quantidade Q_2 de calor. Sendo T_A e T_B as temperaturas absolutas do gás nos estados *A* e *B*, respectivamente, calcule:

a. o valor da razão $\frac{T_B}{T_A}$; 2. a. 7,5

b. o valor da diferença $Q_1 - Q_2$, em joule. 2. b. $9{,}0 \cdot 10^2$ J

3. No diagrama da pressão (*p*) em função do volume (*V*) a seguir, está representado o ciclo termodinâmico que um motor térmico repete em intervalos de tempo sucessivos de duração *T*.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



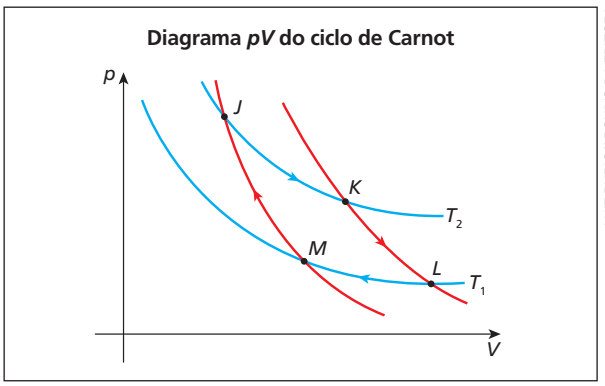
Ciclo termodinâmico de um motor térmico.

Das alternativas a seguir, aponte aquela que traduz a potência fornecida por esse motor. 3. Alternativa **d**.

a. $\frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{2}$
b. $\frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{2T}$
c. $\frac{(V_3 - V_1)(p_2 - p_1)}{2}$
d. $\frac{(V_3 - V_1)(p_2 - p_1)}{2T}$
e. $\frac{2(V_3 - V_1)(p_2 - p_1)}{T}$

4. O ciclo de Carnot *LMJKL* apresentado no diagrama da pressão (*p*) em função do volume (*V*) a seguir propõe o desempenho hipotético de uma máquina térmica que ofereceria máximo rendimento teórico, porém sempre menor que 100%. Nesse diagrama, as hipérboles traçadas em azul se referem, respectivamente, às temperaturas absolutas e constantes T_1 e T_2.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Ciclo de Carnot formado por duas hipérboles de temperaturas T_1 e T_2.

Sobre o ciclo de Carnot indicado, identifique a alternativa incorreta. 4. Alternativa **e**.

a. Na expansão $K \rightarrow L$, o gás realiza um trabalho de mesmo módulo que a variação de sua energia interna.
b. Na compressão $L \rightarrow M$, o gás recebe trabalho do meio externo que é totalmente assimilado em forma de calor.
c. A área interna delimitada pelo ciclo *LMJKL* é numericamente igual ao trabalho realizado pelo gás ao percorrer o ciclo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

d. As transformações $L \rightarrow M$ e $J \rightarrow K$ são isotérmicas e as transformações $M \rightarrow J$ e $K \rightarrow L$ são adiabáticas.

e. Comparando-se T_1 com T_2, tem-se $T_1 > T_2$.

5. Admita que uma máquina térmica ideal, operando de acordo com o ciclo de Carnot, realize trabalho entre duas temperaturas absolutas constantes, $T_A = T$ e $T_B = \frac{T}{4}$, recebendo da fonte quente uma quantidade total de calor igual a Q. Outra máquina térmica, nesse caso real, com rendimento equivalente a um terço do verificado na citada máquina de Carnot, para disponibilizar um trabalho igual ao daquela, deverá receber da fonte quente uma quantidade total de calor igual a: 5. Alternativa **e**.

a. Q

b. $\frac{4}{3}Q$

c. $\frac{5}{2}Q$

d. $2Q$

e. $3Q$

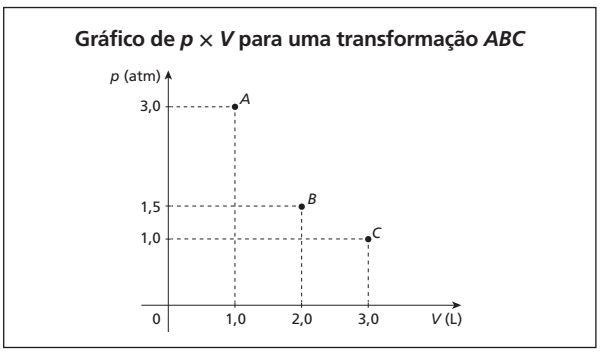
6. O rendimento de um motor cíclico é 40% do rendimento de uma máquina ideal de Carnot que opera entre as temperaturas $T_F = 300$ K (fonte fria) e $T_Q = 1.200$ K (fonte quente). Se esse motor receber em um ciclo a quantidade de calor $Q_{recebido} = 6.000$ J, determine para esse ciclo:

a. o trabalho realizado; 6. a. 1.800 J

b. a quantidade de calor rejeitada. 6. b. 4.200 J

7. Determinada massa de gás perfeito sofre a transformação $A \rightarrow B \rightarrow C$, conforme o diagrama da pressão (p) em função do volume (V) indicado a seguir.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Transformação ABC sofrida por certa massa de gás perfeito.

Pode-se afirmar certamente que: 7. Alternativa **e**.

a. $A \rightarrow B \rightarrow C$ é uma transformação isobárica.

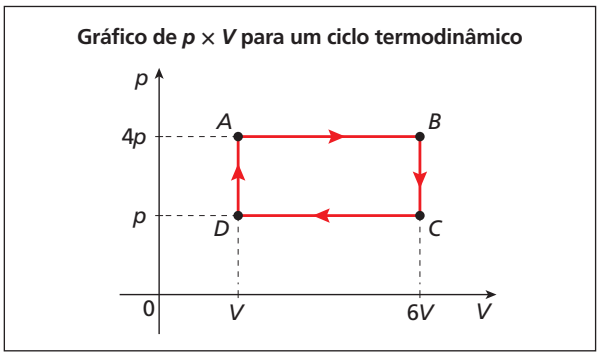
b. $A \rightarrow B \rightarrow C$ é uma transformação isocórica.

c. $A \rightarrow B \rightarrow C$ é uma transformação isotérmica.

d. $A \rightarrow B \rightarrow C$ é uma transformação adiabática.

e. As temperaturas do gás nos pontos A, B e C são iguais.

8. Um ciclo termodinâmico de um gás ideal está representado no diagrama pV a seguir.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Ciclo $ABCD$.

a. O trabalho é realizado pelo gás ou sobre o gás? Por quê? 8. a. Pelo gás, porque o ciclo é horário.

b. Calcule o trabalho ocorrido durante o ciclo em função de p e V. 8. b. $\tau = 15pV$

9. (Enem) Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento. Tal limitação ocorre porque essas máquinas 9. Alternativa **b**.

a. realizam trabalho mecânico.

b. produzem aumento da entropia.

c. utilizam transformações adiabáticas.

d. contrariam a lei da conservação de energia.

e. funcionam com temperatura igual à da fonte quente.

10. Durante a fusão de um bloco de gelo à temperatura constante, a entropia do sistema aumenta ou diminui? 10. Aumenta.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

O quão virtual é a internet?

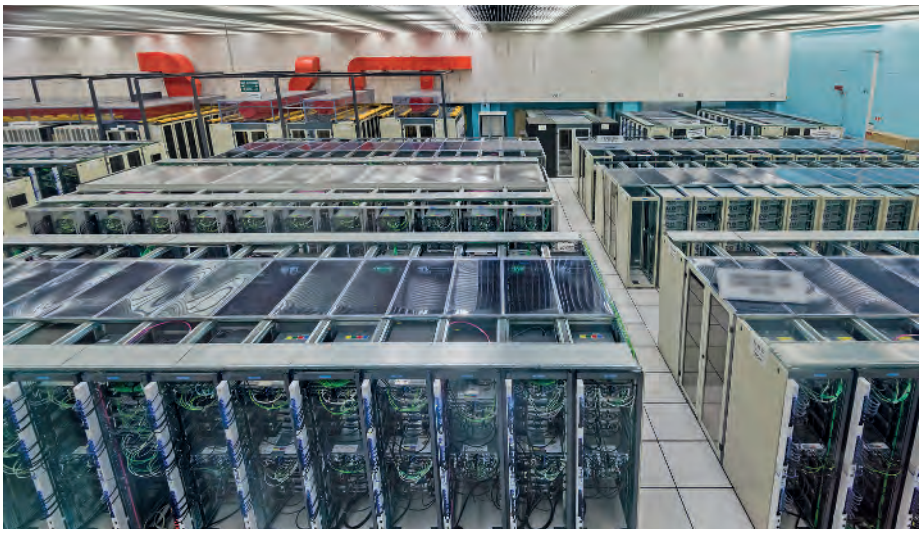
Esta seção favorece o desenvolvimento das habilidades EM13CNT302 e EM13CNT303.

A internet trouxe para bilhões de pessoas a experiência de um mundo virtual, com *games* digitais, mídias sociais e *sites* de negócios. Mas o quão virtual a internet é de fato? Você já parou para pensar em como realmente ela funciona?

Para enviar uma mensagem do seu celular e ela chegar, quase instantaneamente, do outro lado do mundo, você utiliza os serviços de uma grande estrutura de tecnologia informacional que conta com conjuntos de computadores atuando como servidores de um mesmo serviço, conhecidos como *server farms* (fazendas de servidores, em tradução livre), e *data centers* (centros de processamento de dados), locais que abrigam os sistemas computacionais, equipados com sistemas de resfriamento (como ar condicionado e sistemas de ventilação) e fornecimento de energia para garantir a disponibilidade dos serviços sem interrupção, processando informações que chegam e saem do mundo inteiro.

Apesar de a internet não depender de um computador individual para funcionar, os dados que são enviados e recebidos por ela precisam ser armazenados em um ou mais computadores, por isso os servidores e centros de processamento de dados são essenciais para a funcionalidade de alguns serviços disponíveis na internet. A manutenção dos equipamentos dessa estrutura demanda recursos financeiros e ambientais.

Muitos dos equipamentos que compõem a infraestrutura de tecnologia da informação, como os computadores, geram calor durante seu funcionamento, por isso é importante entender como se dá a transferência desse calor, para evitar o superaquecimento dos equipamentos e falhas na conexão e transmissão de dados. Além disso, otimizando a transferência de calor é possível reduzir o consumo de energia, os custos e os impactos ambientais, tornando o serviço mais eficiente. Você já reparou que, quando utilizados por intervalos de tempo prolongados, os computadores podem superaquecer, e que ventoinhas (*coolers*) são acionadas para diminuir a temperatura interna dessas máquinas?



ETHAMPHOTO/ALAMY/FOTOARENA

Servidores no *data center* da Organização Europeia para a Investigação Nuclear (conhecida como CERN, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*). Nesse local, 10 mil servidores com um total de 450 mil núcleos de processadores operam diariamente (Genebra, Suíça, 2018).

Quando você pensa na internet o que você imagina? Realidade virtual, *games* eletrônicos, mídias sociais, informações sendo transmitidas o tempo todo, cabos e computadores em galpões gigantescos processando dados, inclusive os seus, sem parar? Imagina como todos os seus *e-mails* ou todo o conteúdo que você posta na internet são transmitidos e onde esses dados todos são armazenados?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em grupo com dois colegas, reflitam sobre essa temática. Conversem sobre o funcionamento da internet, sobre como os dados enviados e recebidos por milhares de pessoas são armazenados. As questões a seguir podem ajudar nessa reflexão.

1. Vocês sabem como a internet foi desenvolvida e qual foi o seu propósito inicial?
2. Como vocês relacionam o desenvolvimento dos conceitos de Física, em particular os conceitos de energia, calor e temperatura, com o desenvolvimento da internet, desde a sua origem até os dias de hoje?
3. Como o acesso à internet tem impactado o seu dia a dia?
4. Vocês sabem se e como as plataformas digitais e redes sociais armazenam os dados enviados por vocês pela internet?
5. Esses dados e informações compartilhados pela internet são armazenados de forma segura ou podem ser compartilhados pelas empresas de tecnologia com outras pessoas?

Ampliação de repertório

Depois dessa reflexão inicial, é hora de aprofundar as discussões com seus colegas de grupo se apoiando em pesquisas sobre os temas levantados. Vocês podem buscar mais informações sobre a história da internet, a evolução de sua estrutura física, a contribuição dos diversos conceitos da Física para o desenvolvimento de máquinas e redes virtuais mais eficientes e com maior poder de processamento. Pesquisem o impacto da internet e das novas tecnologias de informação e comunicação na forma como nos comunicamos e interagimos socialmente. Pesquisem sobre como os dados enviados e recebidos pela internet, armazenados nos servidores, são gerenciados pelas grandes empresas de tecnologia que controlam as redes sociais e os servidores de *e-mail*, por exemplo. Quem tem acesso a esses dados armazenados?

Vocês podem complementar a pesquisa com a consulta de documentos oficiais, livros e documentários que discutem as mudanças na sociedade com a popularização da internet.

Produção de conteúdo

Considerem a seguinte proposta para aplicar o que estudaram.

Elaborem um guia informativo, simples e objetivo, sobre o desenvolvimento da internet, as mudanças sociais resultantes do desenvolvimento desse novo meio de comunicação e seu impacto no dia a dia das pessoas. Informem sobre como os dados enviados e recebidos são armazenados nos *data centers* e servidores e como são gerenciados pelas empresas de tecnologia. O guia pode ser ilustrado para expressar as ideias do texto e despertar a curiosidade dos leitores.

Vocês podem fazer o guia informativo em formato digital ou impresso, e compartilhar com os colegas de turma.

Autoavaliação

Este espaço é destinado ao reconhecimento de seus pontos fortes e das oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

- Aplicar técnicas de pesquisa para avaliar, nas mídias utilizadas, a confiabilidade dos diversos tipos de informação e dados apresentados.
- Reunir e resumir as informações coletadas.
- Aderir ao tema, com a seleção de dados e informações adequadas, de forma responsável.
- Elaborar um guia informativo utilizando uma linguagem acessível, objetiva e expressando domínio conceitual.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE

5

SAÚDE HUMANA

Se possível, consulte as aberturas das unidades 5 dos volumes de Biologia e de Química desta coleção e faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/ GETTY IMAGES

Exame de angiografia. Método diagnóstico que utiliza raios X para visualizar vasos sanguíneos e artérias do corpo humano, possibilitando identificar doenças vasculares.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

ODS 3

O diagnóstico precoce de doenças tem se tornado cada vez mais importante para promover a saúde, aumentar a expectativa de vida, reduzir a mortalidade prematura e garantir a qualidade de vida da população em geral. Além das medidas preventivas, o diagnóstico precoce é essencial para garantir a saúde da mulher, por exemplo, que requer cuidados especiais, ou de pessoas idosas, que se tornam naturalmente mais suscetíveis a problemas de saúde com o avanço da idade. Métodos diagnósticos como exames de raios X e tomografia computadorizada, que usam radiações para produzir imagens internas do corpo humano, e ultrassonografias, que usam ondas sonoras, são importantes para o diagnóstico e a prevenção de doenças. O acesso a cuidados de saúde em geral e a métodos diagnósticos como esses, cada vez mais precisos, é fundamental para alcançar a cobertura universal de saúde.

Nesta unidade, estudaremos os fenômenos ópticos, os espelhos planos e esféricos, as lentes esféricas e os instrumentos ópticos. Os fenômenos ondulatórios e o estudo das ondas sonoras, como os ultrassons, também serão apresentados nesta unidade, além da radioatividade e das radiações ionizantes, como os raios X, os processos de fissão e fusão nuclear e os decaimentos radioativos.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. O microscópio composto é uma ferramenta importante para a análise de materiais extremamente pequenos ou invisíveis a olho nu, estruturas celulares e bactérias. O que você sabe sobre o seu funcionamento? Explique.
2. Como os sons e as imagens são transmitidos e recebidos por dispositivos como telefones celulares, televisores e aparelhos de ultrassonografia? Que tipos de onda você reconhece em transmissões como essas?
3. Por que percebemos sons distintos quando a mesma nota musical é tocada por diferentes instrumentos musicais? Que características das ondas sonoras você associa a esse fato?
4. Os raios X e os raios γ (gama) são largamente utilizados na Medicina. O que você sabe sobre radioatividade, radiações ionizantes, suas aplicações e seus impactos na saúde humana?

Capítulo 17

Óptica geométrica e instrumentos ópticos

E+/GETTY IMAGES

Cientista realizando observação ao microscópio em um laboratório.

O desenvolvimento dos instrumentos ópticos tem permitido a observação de detalhes que seriam impossíveis de captar a olho nu, por serem muito pequenos ou até mesmo muito distantes para serem observados nitidamente pelo olho humano, sem o auxílio de instrumentos. Os microscópios, por exemplo, possibilitam o estudo de propriedades da matéria em escalas moleculares, com resolução da ordem de 10^{-7} m. Assim, os microscópios têm desempenhado um papel crucial em diversas áreas, como Geologia, Arqueologia, Biologia, Medicina e Biomedicina. Por meio deles, podem ser observadas amostras de insetos, plantas, rochas, estruturas celulares e bactérias, por exemplo.

Neste capítulo, estudaremos os fenômenos luminosos, as leis da reflexão e da refração da luz. Vamos analisar o funcionamento de espelhos planos, espelhos esféricos côncavos e convexos, de lentes esféricas em geral e, por fim, de instrumentos ópticos, como os microscópios ópticos, cujo funcionamento se baseia, principalmente, nas propriedades da luz e das lentes.

Propagação da luz

Os elementos básicos utilizados em Óptica são uma fonte de luz e um observador. A luz ilumina os objetos ao redor, e é o que permite que eles sejam observados. As fontes de luz são chamadas **fontes primárias** (produzem a própria luz); e o objeto iluminado em análise é uma **fonte secundária**, pois ele reflete a luz proveniente da fonte primária. Assim, a fonte secundária devolve difusamente a luz que recebe.

Quando uma fonte de luz está muito distante ou tem dimensões desprezíveis em relação ao corpo que é iluminado, ela é chamada de **fonte puntiforme** (ou pontual). Quando suas dimensões não são desprezíveis, a fonte de luz é denominada **fonte extensa**. O Sol, do ponto de vista do Universo, é uma fonte luminosa puntiforme, mas, do ponto de vista da Terra, é uma fonte luminosa extensa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outra interessante característica da luz é seu distinto comportamento ao atravessar diferentes tipos de meios ópticos. Esses meios são classificados como transparentes, translúcidos ou opacos, dependendo de permitir passagem de mais ou menos luz.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Quando a luz se propaga em um meio de forma regular e com trajetórias bem definidas, dizemos que o meio é transparente, como o ar e o vidro homogêneos. **(B)** No caso em que a luz se propaga de forma não regular e com trajetórias desordenadas, dizemos que o meio é translúcido, como o papel-manteiga e a neblina. **(C)** Quando a luz não se propaga através do meio, dizemos que o meio é opaco, como a madeira e metais em grossas camadas.

Princípios da Óptica geométrica

Na Óptica geométrica, os fenômenos relacionados à propagação da luz podem ser explicados por três princípios básicos, que nos ajudam a compreender melhor algumas observações feitas em nosso dia a dia.

O primeiro é o **princípio da propagação retilínea da luz**, que afirma: a luz se propaga em uma linha reta quando atravessa um meio homogêneo e transparente.

COUPERFIELD/SHUTTERSTOCK

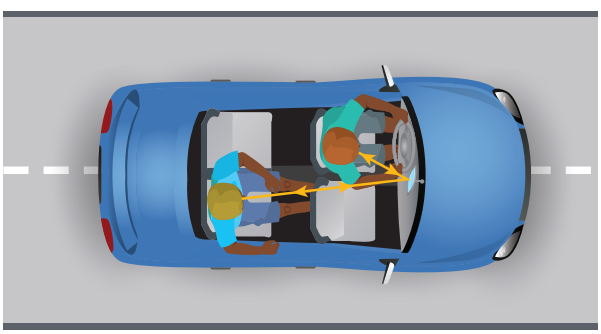
Perito forense usando um *laser*, em propagação retilínea.

O segundo é o **princípio da independência dos raios de luz**, segundo o qual os raios de luz, ao se intersectarem, não alteram sua trajetória.

EYEEM MOBILE GMBH/GETTY IMAGES

Em muitos espetáculos, o princípio da independência dos raios de luz é aplicado para iluminar diferentes áreas do palco, usando-se diversas fontes de luz.

O terceiro é o **princípio da reversibilidade dos raios de luz**, que afirma: a trajetória percorrida pelos raios de luz não depende do sentido de propagação.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

No banco de trás de um carro, pelo retrovisor, é possível ver os olhos do motorista e vice-versa, graças ao princípio da reversibilidade dos raios de luz. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

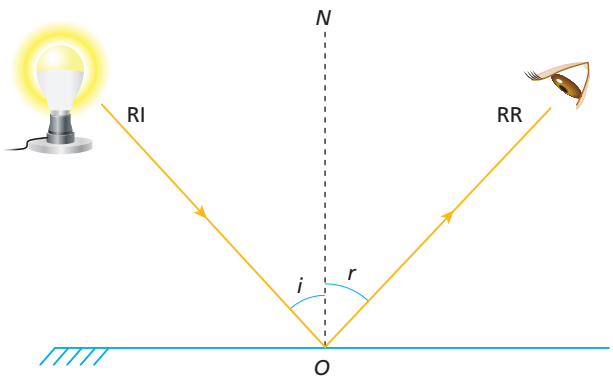
Reflexão em espelhos planos

Em diversas atividades profissionais e no cotidiano, utilizamos **sistemas ópticos**, como instrumentos para visualizar ou registrar imagens e ampliar detalhes não observáveis a olho nu. Esses sistemas, compostos de prismas, lentes e/ou espelhos, modificam a trajetória da luz, como ocorre em lunetas e microscópios. Vamos estudar como esses sistemas alteram a trajetória da luz e formam imagens, iniciando pelo estudo do **espelho plano**.

Espelho plano é uma superfície refletora, geralmente metálica polida e plana, ou formada por uma lâmina de vidro transparente de faces paralelas, em que numa delas é depositada uma fina camada de metal, geralmente cromo, níquel ou prata, que reflete a luz de modo regular. A outra face é escura e absorve a luz que incide sobre ela, impedindo que essa luz seja transmitida para a camada refletora de metal.

Para estudarmos o fenômeno da reflexão da luz, vamos considerar um raio luminoso que incide no ponto *O* de um espelho plano. Uma reta perpendicular à superfície do espelho e que passa pelo ponto *O* é chamada de reta normal e será representada pela letra *N*.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um raio de luz incidindo (RI) em um espelho plano e refletindo (RR), chegando aos olhos de um observador. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Analisando o ângulo que o raio incidente (*RI*) e o ângulo que o raio refletido (*RR*) formam respectivamente com a normal *N*, obtemos a chamada **lei da reflexão**, que afirma que as medidas dos ângulos de reflexão (*r*) e de incidência (*i*) são sempre iguais: $r = i$.

Formação de imagens em espelhos planos

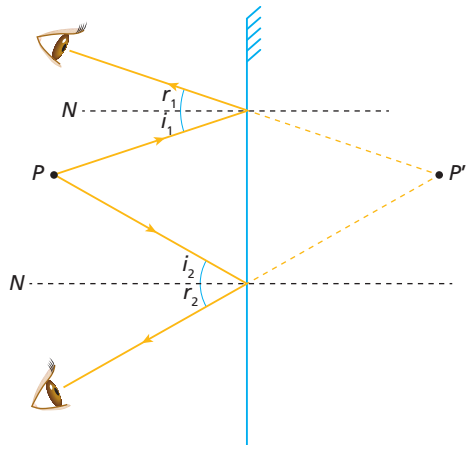
Ao nos posicionarmos em frente a um espelho plano, é possível ver nossa própria imagem nele. O desvio dos raios de luz causado por espelhos planos é responsável pela criação dessa imagem.

WESTEND61/GETTY IMAGES

Pessoa observando sua imagem formada por um espelho plano.

A figura a seguir mostra dois raios de luz refletidos por um espelho plano. Esses dois raios saem do mesmo ponto *P*. De acordo com a lei da reflexão, cada raio produz ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência; portanto, $r_1 = i_1$ e $r_2 = i_2$. Os prolongamentos dos raios refletidos, o que é válido para quaisquer raios refletidos provenientes de *P*, passam por um mesmo ponto *P'* que chamaremos de ponto imagem.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de dois raios de luz sendo refletidos em um espelho plano para produzir a imagem *P'* do ponto objeto *P*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

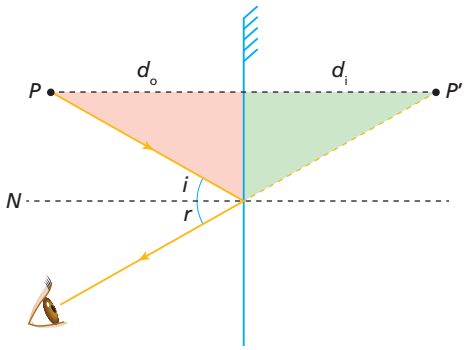
O ponto *P* é chamado de **ponto objeto real**, definido como o ponto de onde partem os raios de luz que incidem no espelho. O ponto *P'*, conhecido como **ponto imagem virtual**, indica a localização da imagem produzida pelo objeto localizado em *P*. Um ponto imagem virtual é definido pela intersecção dos prolongamentos dos raios de luz que são refletidos pelo espelho. Como as imagens virtuais são formadas pelos prolongamentos dos raios luminosos e não pela passagem efetiva de luz, elas não podem ser projetadas em anteparos ou telas.

Ao se observar um objeto refletido pelo espelho plano, geralmente tem-se a impressão de que este está atrás do espelho, porque o cérebro humano não é capaz de identificar a diferença entre a luz que foi refletida no espelho e aquela que veio diretamente do objeto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura a seguir mostra um raio de luz que incide e é refletido na superfície de um espelho plano. As regiões compreendidas entre os pontos *P* e *P'* e as distâncias entre o objeto e o espelho e entre o espelho e a imagem, interceptadas pela superfície do espelho, formam dois triângulos. Como os ângulos *r* e *i* têm a mesma medida, é possível demonstrar que esses triângulos são congruentes, isto é, os lados correspondentes têm medidas iguais.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um raio de luz incidindo e refletindo em um espelho plano. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Dessa forma, as distâncias entre o objeto e o espelho (d_o) e entre a imagem e o espelho (d_i) têm a mesma medida ($d_i = d_o$). Diz-se que, nos espelhos planos, a imagem é **simétrica** do objeto em relação à superfície refletora.

Em um espelho plano, devido à simetria, a imagem aparece idêntica ao objeto e à mesma distância a que esse objeto está do espelho. Assim, a imagem estabelece com o objeto uma correspondência ponto a ponto em relação à superfície refletora, configurando uma imagem com dimensões iguais às do objeto, mas de natureza oposta, isto é, objetos reais produzem imagens virtuais e vice-versa.

Devido a essa simetria, ambulâncias e outros veículos de emergência têm sua designação grafada rebatida lateralmente para que o motorista do veículo à frente, ao observar a viatura pelo espelho retrovisor, leia sua caracterização de modo correto.

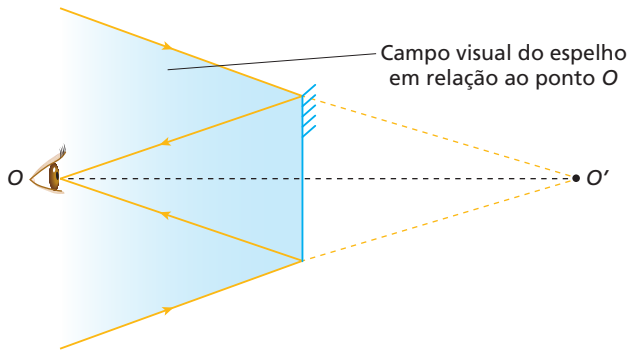
LEO CALDAS/PULSAR IMAGENS

As palavras na frente da ambulância estão escritas de forma rebatida lateralmente (figuras enantiomorfas) para facilitar a visualização pelo retrovisor do veículo que está à sua frente.

Campo visual de um espelho plano

Ao se posicionar em frente a um espelho, provavelmente não é possível observar por reflexão toda a paisagem do local onde o espelho está, mas sim uma parte dela. Isso depende da posição do observador e do tamanho do espelho. Essa região do espaço que pode ser observada por meio da reflexão da luz em um espelho é chamada de **campo visual do espelho**. Esse campo visual é definido em relação à posição do observador.

Para determinar o campo visual de um espelho plano em relação a um ponto *O*, no qual se encontra um observador diante do espelho, é necessário localizar o ponto *O'*, simétrico a *O* em relação à superfície refletora e, por meio de prolongamento de retas, unir *O'* às bordas do espelho.

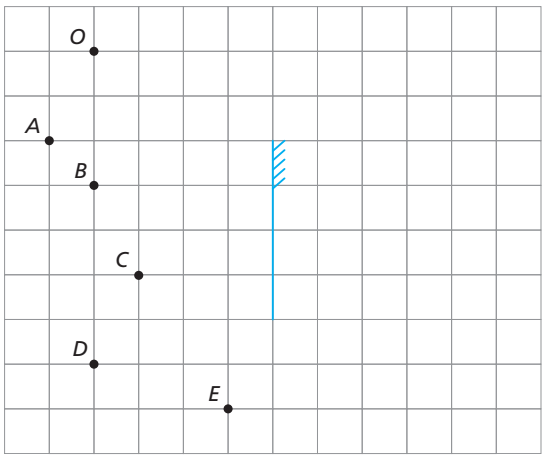


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do campo visual do espelho plano em relação ao ponto *O*, no qual está o olho do observador. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Exemplo

Um observador está diante de um espelho plano, sendo que no ponto *O*, indicado na figura a seguir, está localizado seu olho.



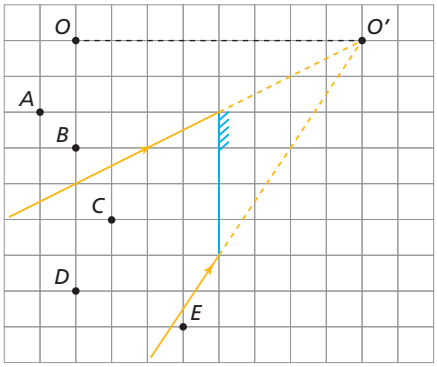
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do ponto *O*, onde está o olho do observador, diante de um espelho plano.

Dos pontos representados na figura, quais podem ser observados no espelho, pelo observador em *O*, por meio da reflexão da luz?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática dos pontos que estão dentro e fora do campo visual do espelho em relação ao observador em *O*.

Para obter os pontos observáveis a partir de *O*, devemos indicar o ponto *O′*, no qual se encontra a imagem do olho do observador, simétrico a *O*, para determinarmos seu campo de visão. Depois, unimos o ponto *O′* às duas bordas do espelho e prolongamos as retas.

Portanto, o observador consegue ver apenas os pontos *C* e *D* refletidos no espelho.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. A Lua é um corpo rochoso e maciço que orbita o planeta Terra. Pela sua constituição, sabe-se que ela não produz luz própria. No entanto, no céu noturno, especialmente em noites de lua cheia, é possível observar seu brilho. Nesse caso, a Lua pode ser considerada uma fonte de luz primária? Por quê?

2. O que diferencia os meios de propagação transparentes, translúcidos e opacos?

3. Qual é a principal característica de uma imagem formada em um espelho plano? Elabore um esquema para demonstrar as relações entre objeto e imagem.

1. Não, porque ela não produz luz própria.
2. O modo de propagação da luz através de cada um deles.
3. Simétrica do objeto em relação à superfície refletora. Espera-se que os estudantes verifiquem a relação de simetria por meio de um esquema.

ATIVIDADE COMENTADA

Um observador com altura *H* deseja ver sua imagem de corpo inteiro usando um espelho plano circular posicionado verticalmente. Sendo *h* a altura de seus olhos em relação ao solo, plano e horizontal, faça o que se pede.

a. **Determine o diâmetro mínimo *d* que o espelho deve ter para que seja possível realizar essa observação.**

b. **Calcule a distância *L* da extremidade inferior do espelho ao solo.**

c. **As dimensões *d* e *L* dependem da distância *x* do observador em relação ao espelho? Explique.**

Analisar o enunciado

O observador pretende ver sua imagem de corpo inteiro em um espelho plano circular. Por se tratar de um espelho com uma altura inferior à do observador, é necessário que este se posicione a uma certa distância para que sua imagem não seja parcial.

Selecionar as informações relevantes

Para determinar o diâmetro mínimo do espelho e a distância a que o observador deve se colocar para que seja possível ver-se de corpo inteiro, é necessário determinar as posições do espelho e do observador e verificar as relações entre elas. O esquema a seguir considera o diâmetro mínimo para que o observador *CP* consiga ver-se de corpo inteiro, bem como as posições do observador e de sua imagem, na qual:

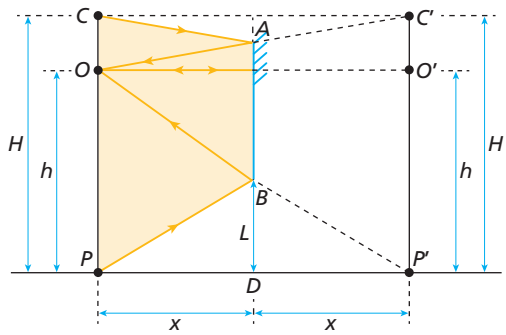
C é o extremo superior da cabeça do observador;

O é o olho do observador;

P é o extremo inferior do pé do observador;

C′, *O′* e *P′* são as imagens simétricas de *C*, *O* e *P*, respectivamente, fornecidas pelo espelho;

$\overline{AB}$ é o espelho ($AB = d$).



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Aplicar o conceito estudado

a. De acordo com o esquema construído, os triângulos *OAB* e *OC′P′* são semelhantes. Pelo teorema de Tales, é possível determinar o diâmetro *d* (comprimento *AB*) mínimo do espelho:

$$\frac{d}{H} = \frac{x}{2x} \Rightarrow d = \frac{H}{2}$$

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

O diâmetro mínimo do espelho deve corresponder à metade da altura do observador.

b. Para encontrar a distância L, pode-se utilizar novamente o teorema de Tales. Desta vez considerando a proporcionalidade entre a razão dada pela distância da parte inferior do espelho ao chão e a distância dos olhos do observador até o chão e a razão entre a distância do observador ao espelho e a distância entre o observador e a sua imagem:

$$\frac{L}{h} = \frac{x}{2x} \Rightarrow L = \frac{h}{2}$$

A distância do extremo inferior do espelho ao solo deve corresponder à metade da altura dos olhos do observador.

c. De acordo com os cálculos realizados nos itens **a** e **b**, verifica-se que as dimensões d e L independem de x.

Verificar a solução

Por se tratar de um espelho plano, é possível inferir que a distância do espelho à imagem é igual à distância do observador ao espelho. Em relação ao diâmetro do espelho, o valor encontrado justifica-se pelo fato de que os ângulos de incidência são iguais aos ângulos de reflexão; logo, os triângulos formados entre os olhos do observador e o diâmetro do espelho e entre os olhos do observador e as extremidades de sua imagem formada são semelhantes.

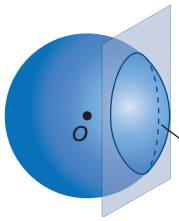
Espelhos esféricos

O uso de instrumentos ópticos que formam imagens ampliadas é muito comum em diversas áreas da tecnologia e no cotidiano. Por proporcionarem um eventual aumento da imagem, os espelhos esféricos côncavos são muito utilizados para observar regiões de difícil visualização direta, como em espelhos de dentistas ou para fazer barba ou maquiagem. Já os espelhos esféricos convexos, por proporcionarem maior campo de visão que espelhos planos de mesmas dimensões, são utilizados em retrovisores de carros, saídas de estacionamentos, corredores de supermercados etc.

YOH4NN/GETTY IMAGES

Espelho bucal, utilizado por dentistas. Espelhos esféricos servem para visualizar regiões de difícil observação direta, eventualmente aumentando a imagem e o campo de visão.

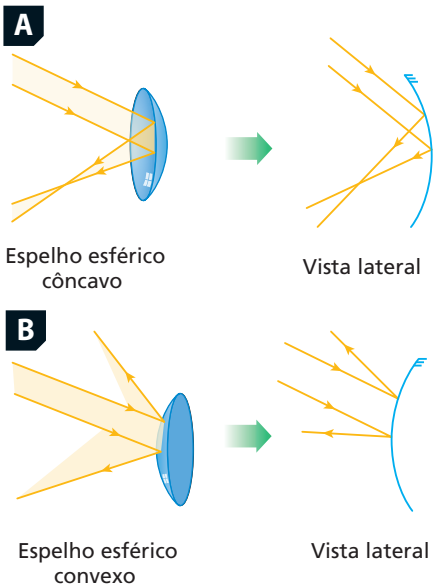
Um espelho esférico pode ser obtido pelo corte de uma secção reta de uma esfera oca. Essa fatia é chamada de **calota esférica**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de como obter uma calota esférica.

Essa calota, conforme o lado que é espelhado, pode ser classificada em: **espelho côncavo**, se a superfície interna for a espelhada, ou **espelho convexo**, se a superfície externa for a espelhada.



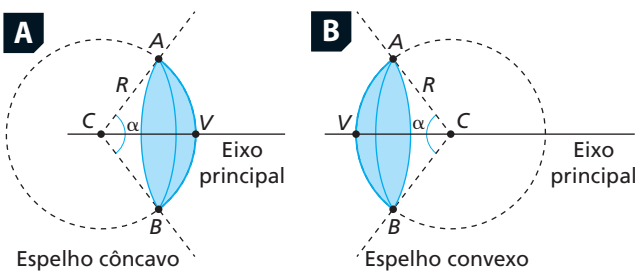
Representações esquemáticas de raios de luz incidindo **(A)** em um espelho esférico côncavo e **(B)** em um espelho esférico convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Elementos geométricos de um espelho esférico

A seguir, estão os elementos geométricos de um espelho esférico côncavo (figura A) e de um espelho esférico convexo (figura B).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos elementos geométricos **(A)** de um espelho esférico côncavo e **(B)** de um espelho esférico convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Esses elementos são:

- centro de curvatura (*C*), o centro da superfície esférica de onde foi cortada a calota;
- vértice (*V*), o polo da calota;
- eixo principal, a reta definida por *C* e *V*;
- raio de curvatura (*R*), o raio da esfera usada para formar a calota;
- abertura (α), a medida do ângulo *ACB*, sendo *A* e *B* pontos opostos na base da calota.

É comum os espelhos esféricos apresentarem imagens distorcidas, fenômeno conhecido como **aberração esférica**. Para diminuir a aberração esférica, ou seja, para que imagens nítidas sejam formadas, devem ser obedecidas as **condições de Gauss**.

- O ângulo de abertura deve ser pequeno ($\alpha \leqslant 10°$).
- Os raios de luz que incidem no espelho esférico devem estar próximos e pouco inclinados em relação ao eixo principal.

Os espelhos esféricos que obedecem a essas condições são chamados de **espelhos esféricos de Gauss** (ou gaussianos).

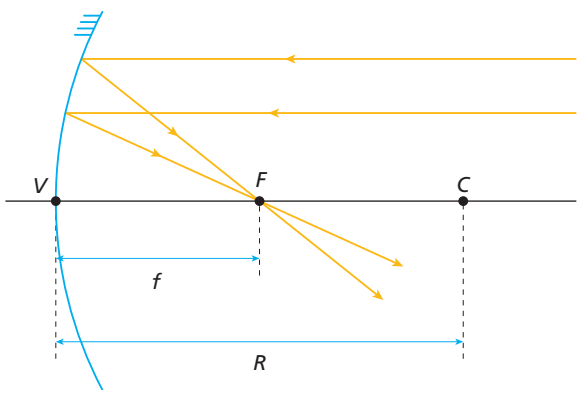
Foco de espelhos esféricos de Gauss

O **foco principal** (*F*) é outro elemento importante em um espelho esférico de Gauss. Nesses espelhos, o foco fica no ponto médio do raio de curvatura (*R*), sobre o eixo principal, sendo sua distância, em módulo, dada por:

$$f = \frac{R}{2}$$

A distância *f* é denominada **distância focal**. Conforme o tipo do espelho, o foco será um ponto de **convergência**, quando os raios de luz refletidos se agrupam nesse ponto, ou de **divergência**, quando os raios de luz refletidos divergem alinhados com esse ponto.

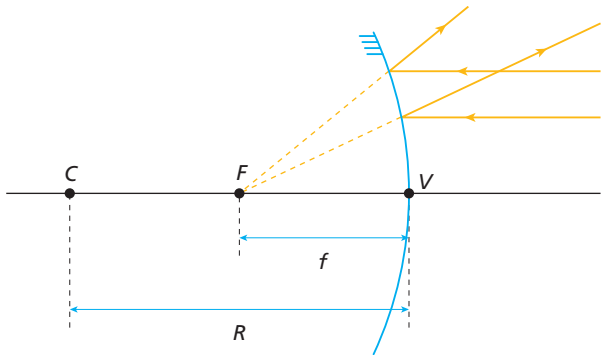
Considerando um feixe cilíndrico de raios de luz incidindo em um espelho esférico, paralelamente ao eixo principal, temos que, em um **espelho esférico côncavo** gaussiano, esses raios de luz depois de refletidos convergem no foco, por isso os espelhos esféricos côncavos também são denominados **espelhos convergentes**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de raios de luz paralelos incidindo em um espelho esférico côncavo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Já em um **espelho esférico convexo** gaussiano os raios de luz paralelos divergem depois de refletidos alinhados com o foco, por isso os espelhos esféricos convexos também são denominados **espelhos divergentes**. Como os raios de luz refletidos não atingem o foco, é necessário prolongá-los até o ponto *F*.



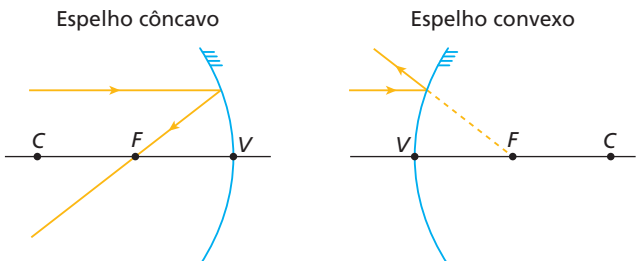
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de raios de luz paralelos incidindo em um espelho esférico convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Raios notáveis

A construção de imagens em espelhos esféricos depende de uma análise da trajetória dos raios de luz que saem do objeto e incidem no espelho. Para verificar essa construção, vamos considerar as propriedades de quatro raios particulares. Esses raios passam pelos elementos geométricos principais do espelho esférico e são conhecidos como **raios notáveis**.

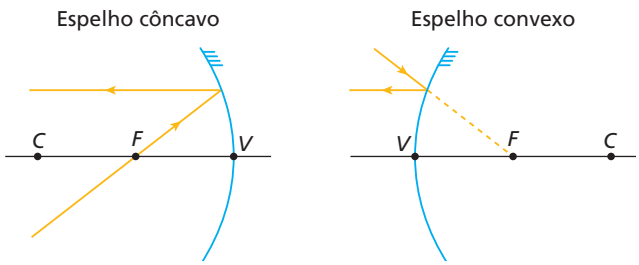
O primeiro é um raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal e se reflete em uma direção alinhada com o foco.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um raio de luz incidindo paralelamente ao eixo principal em um espelho côncavo e em um espelho convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O segundo é um raio de luz que incide em uma direção alinhada com o foco e se reflete paralelamente ao eixo principal.

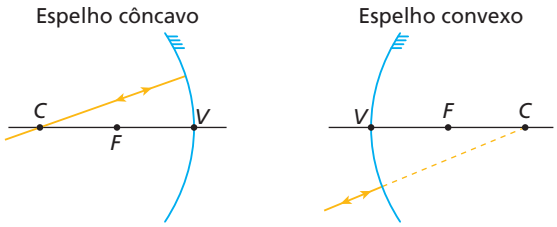


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um raio de luz incidindo alinhado com o foco de um espelho côncavo e de um espelho convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

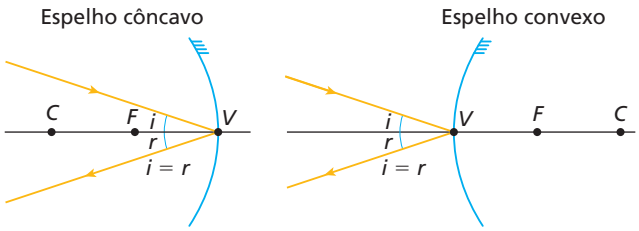
O terceiro é um raio de luz que incide alinhado ao centro de curvatura e se reflete sobre si mesmo. Nesse caso, os ângulos de incidência e de reflexão são nulos.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um raio de luz incidindo alinhado ao centro de curvatura de um espelho côncavo e de um espelho convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Por último, o quarto raio notável é um raio de luz que incide no vértice e é refletido simetricamente em relação ao eixo principal. É importante notar que, nesse caso, o eixo principal é a reta normal à superfície do espelho em *V* (vértice), devendo ser considerada a lei da reflexão, o que justifica a citada simetria.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um raio de luz incidindo no vértice de um espelho côncavo e no vértice de um espelho convexo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Os dois primeiros raios notáveis são exclusivos de espelhos esféricos gaussianos e os dois últimos se aplicam a espelhos esféricos gaussianos ou não.

Formação de imagens em espelhos esféricos

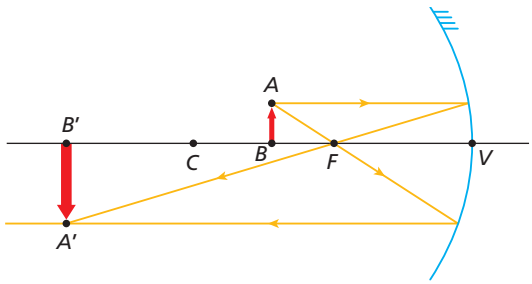
Para a construção de imagens em um espelho esférico, utilizaremos os raios que partem do objeto analisado.

Quando o encontro dos raios refletidos ocorre efetivamente, diz-se que a natureza da imagem é **real**. Quando o encontro dos raios refletidos ocorre por meio de seus prolongamentos, a natureza da imagem é **virtual**. Se os raios refletidos não se encontram, diz-se que a natureza da imagem é imprópria; nesse caso, não ocorre a formação da imagem.

O segmento de reta perpendicular que une o ponto de encontro dos raios refletidos ao eixo principal define o eixo vertical da imagem do objeto. Quando a imagem mantém a orientação do objeto, ela é chamada de imagem **direita**. Caso tenha orientação contrária à do objeto, é chamada de imagem **invertida**.

Apesar de muitos raios contribuírem para a formação da imagem, vamos analisar sua formação considerando apenas dois raios notáveis. Consideremos as características da imagem formada por esses raios em espelhos côncavos, sendo a formação da imagem de um objeto representado por uma seta vermelha *AB* e a sua imagem, representada por uma seta vermelha *A'B'*.

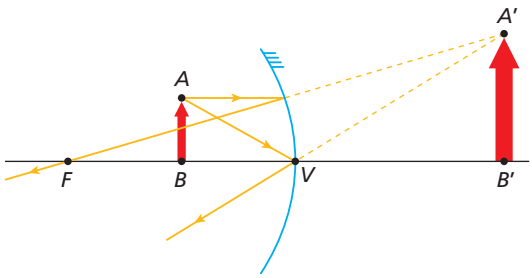
Quando um objeto está situado entre o centro de curvatura *C* e o foco *F*, a imagem será real, invertida e maior que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um espelho esférico côncavo com um objeto entre C e *F*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

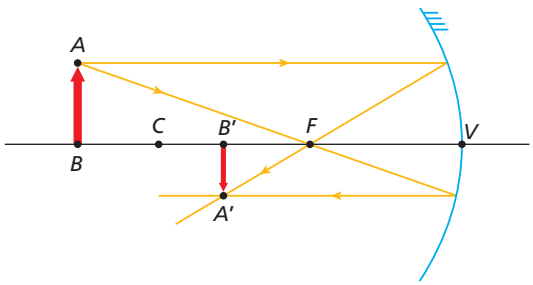
Quando um objeto está situado entre o foco *F* e o vértice *V*, a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um espelho esférico côncavo com um objeto entre *F* e *V*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando um objeto está situado antes do centro de curvatura *C*, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.



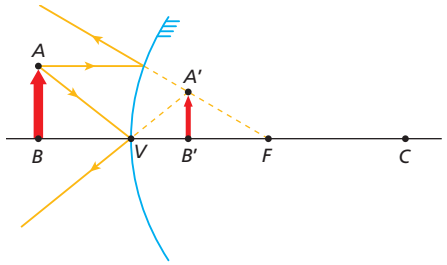
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um espelho esférico côncavo com um objeto antes de *C*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando consideramos os espelhos esféricos convexos, para qualquer posição do objeto em frente ao espelho, a imagem formada será sempre virtual, direita e menor do que o objeto.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



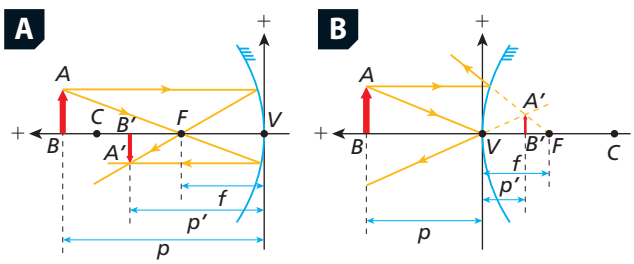
Representação esquemática de um espelho esférico convexo com um objeto diante da superfície refletora. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Equação de Gauss e ampliação

O estudo da posição da imagem de um objeto fornecida por um espelho esférico pode ser realizado por meio de um sistema de coordenadas no qual a origem está no vértice do espelho, orientando-se como positivo o sentido contrário ao da luz incidente. Esse sistema de coordenadas é formado por uma abscissa (eixo *x*) e uma ordenada (eixo *y*) e é conhecido como **referencial gaussiano** ou **referencial de Gauss** para os espelhos esféricos. Note que, nesse referencial, objetos e imagens reais, ou seja, que estão posicionados em frente ao espelho, possuem abscissas positivas. Já as imagens virtuais, que estão posicionadas atrás do espelho, têm abscissas negativas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do referencial gaussiano **(A)** para um espelho côncavo, em que $f > 0$, $p > 0$ e $p' > 0$, e **(B)** para um espelho convexo, em que $f < 0$, $p > 0$ e $p' < 0$. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Com base nesse referencial, é possível relacionar a distância (ou abscissa) focal, a posição (ou abscissa) do objeto e a posição (ou abscissa) da imagem a partir da **equação de Gauss**:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Em que f é a distância (ou abscissa) focal, isto é, a distância do vértice ao foco do espelho com um sinal algébrico, p é a distância (ou abscissa) do objeto ao vértice do espelho com um sinal algébrico e p' é a distância (ou abscissa) da imagem ao vértice do espelho também com um sinal algébrico. De acordo com o referencial de Gauss para espelhos esféricos, temos:

- $f > 0$ para espelhos côncavos.
- $f < 0$ para espelhos convexos.
- $p' > 0$ para imagens reais.
- $p' < 0$ para imagens virtuais.

O referencial gaussiano também pode ser usado para determinar o tamanho da imagem. Sendo o tamanho do objeto o valor da ordenada de sua extremidade representado pela letra *o* e o tamanho da imagem o valor da ordenada de sua extremidade representado pela letra *i*, o **aumento linear transversal** (***A***), ou **ampliação**, é dado por:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

Note que A é um valor adimensional e seu módulo permite saber se a imagem formada foi ampliada, reduzida ou manteve o tamanho do objeto.

- Se $|A| > 1$, a imagem foi ampliada.
- Se $|A| < 1$, a imagem foi reduzida.
- Se $|A| = 1$, o tamanho da imagem é igual ao do objeto.

Além disso, é possível saber se a imagem é direita ou invertida pelo sinal de A.

- Se $A > 0$, a imagem é direita.
- Se $A < 0$, a imagem é invertida.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

4. As colheres são objetos com superfícies geralmente metálicas polidas, cujos formatos remetem a uma calota esférica. Considerando uma colher com as características descritas, a que tipo de espelho esférico a superfície interna de uma colher pode ser comparada? E a superfície externa?

4. Superfície interna: côncavo. Superfície externa: convexo.

5. Uma pessoa se coloca em frente a um espelho esférico e vê sua imagem direita e ampliada. Identifique o tipo de espelho utilizado nessa situação e construa um esquema indicando as posições do vértice e do foco principal desse espelho, bem como as posições da pessoa e de sua respectiva imagem.

6. Um espelho convexo retrovisor de um automóvel consiste em uma calota esférica com raio de curvatura $R = 9{,}0$ m. Quando um motorista observa uma motocicleta atrás de seu carro, a uma distância de 9,0 m do espelho, considerando que o espelho obedece às condições de Gauss, determine:

a. a distância entre a imagem da motocicleta e o espelho;

b. o aumento linear transversal correspondente a essa imagem.

6. a. 3,0 m; 6. b. $\frac{1}{3}$

5. Espelho côncavo. Espera-se que os estudantes identifiquem a posição do vértice e do foco principal por meio de um esquema, e que notem que a imagem da pessoa é virtual.

Refração

O fenômeno da **refração** ocorre quando a luz, ao atingir uma superfície de separação entre dois meios, passa a se propagar no meio seguinte com velocidade e comprimento de onda diferentes. A frequência da luz (e o período), no entanto, permanece inalterada.

Índice de refração absoluto de um meio

Na figura a seguir, um bastão de vidro parcialmente imerso em água parece estar quebrado devido à refração. A luz refletida pelo bastão passa pela água, depois pelo vidro, onde ocorre refração, e finalmente retorna ao ar, sofrendo outra refração. Quando a luz atinge os olhos, vinda do ar, sofre mais refrações ao adentrar o globo ocular. Em todas essas situações, a luz atravessa meios distintos.

NIXX PHOTOGRAPHY/SHUTTERSTOCK

Bastão de vidro dentro de um béquer com água, aparentando estar quebrado.

A grandeza física que sofre alteração quando a luz atravessa diferentes meios é a **velocidade de propagação**. Para comparar meios homogêneos e transparentes diferentes, utilizamos o conceito de **índice de refração absoluto** (*n*), que é um número adimensional obtido pela razão entre a intensidade da velocidade da luz no vácuo (*c*) e a intensidade da velocidade da luz no meio em questão (*v*). De maneira geral, pode-se dizer que *n* indica quantas vezes *c* é maior que *v*; assim:

$$n = \frac{c}{v}$$

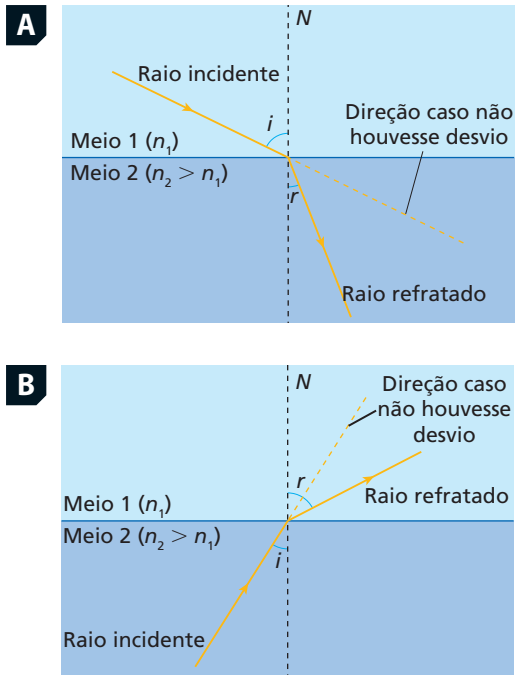
Vale ressaltar que cada substância ou meio transparente possui um índice de refração absoluto característico.

A relação entre os índices de refração absolutos de dois meios homogêneos e transparentes e o desvio sofrido pela luz ao atravessar esses meios foi obtida no século XVII, pelo matemático e astrônomo holandês Willebrord van Roijen Snell (1580-1626) e pelo filósofo, físico e matemático francês René Descartes (1596-1650).

Para obter essa relação, vamos considerar um raio de luz monocromático, propagando-se em um meio 1, cujo índice de refração absoluto é n_1, e fazendo um ângulo *i* com a reta normal (*N*). Esse raio, ao passar para um meio 2, cujo índice de refração absoluto é n_2, passa a formar um ângulo *r* com a reta normal. A relação entre os índices de refração absolutos dos dois meios e o desvio sofrido pela luz ao atravessá-los é regida pela **lei da refração**, também conhecida como **lei de Snell-Descartes**, dada por:

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$

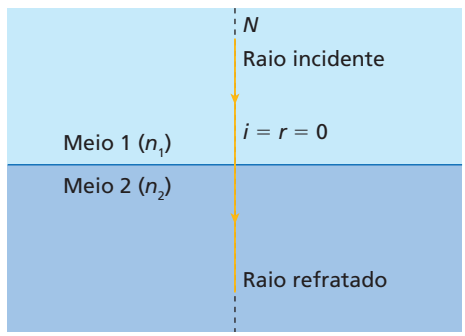
O meio que tiver maior índice de refração absoluto quando comparado ao outro meio é denominado mais **refringente**. De acordo com a lei de Snell-Descartes, supondo uma incidência oblíqua, um raio de luz refratado fica mais próximo da reta normal em um meio mais refringente do que em um meio menos refringente. Ou seja, se o raio de luz sair de um meio menos refringente (como o ar) para outro mais refringente (como a água) em uma incidência oblíqua, ele deve se aproximar da reta normal (figura A). No entanto, se o raio de luz sair de um meio mais refringente (como o vidro) para outro menos refringente (como o vácuo), também em uma incidência oblíqua, ele deve se afastar da reta normal (figura B).



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um raio de luz passando obliquamente **(A)** de um meio menos refringente para um meio mais refringente; e **(B)** de um meio mais refringente para um meio menos refringente. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Quando o ângulo de incidência for 0°, o ângulo de refração também será 0° e não haverá mudança de direção nem de trajetória, embora ocorra mudança na intensidade da velocidade de propagação da luz.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um raio de luz com ângulo de incidência igual a zero (incidência normal) e ângulo de refração também igual a zero. Nesse caso, não há mudança de direção nem de trajetória. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Comente com os estudantes que, durante a pesca com arco e flecha, por exemplo, o peixe é observado mais próximo à superfície da água devido à refração. As pessoas que praticam esse tipo de pesca aprendem a corrigir esse efeito para obter sucesso. Se achar conveniente, elabore um esquema mostrando aos estudantes a formação da imagem em uma situação como essa.

Exemplo

Um raio de luz proveniente do ar incide formando um ângulo de 30° com a normal sobre a superfície de separação entre o ar e o óleo de cozinha. Considerando-se $n_{ar} = 1{,}00$ e $n_{óleo} = 1{,}47$, o raio de luz refratado se aproxima ou se afasta da normal? Por quê? Qual é a intensidade da velocidade da luz no óleo, sabendo-se que $v_{ar} \simeq c = 3{,}00 \cdot 10^8$ m/s? Qual é o ângulo de refração? Considere sen 30° = 0,5 e, se necessário, utilize a calculadora.

O raio refratado se aproxima da normal, pois o raio de luz passa de um meio menos refringente ($n_{ar} = 1{,}00$) para um mais refringente ($n_{óleo} = 1{,}47$).

Para calcular a intensidade da velocidade da luz no óleo, podemos usar a definição do índice de refração absoluto:

$$n_{óleo} = \frac{c}{v_{óleo}} \Rightarrow 1{,}47 = \frac{3{,}00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{v_{óleo}} \Rightarrow v_{óleo} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1{,}47} \therefore v_{óleo} \simeq 2{,}04 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Para calcular o ângulo de refração (r), podemos aplicar a lei de Snell-Descartes:

$$n_{ar} \cdot \text{sen } i = n_{óleo} \cdot \text{sen } r \Rightarrow 1{,}00 \cdot \text{sen } 30° = 1{,}47 \cdot \text{sen } r \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{sen } r = \frac{1{,}00}{1{,}47} \cdot \text{sen } 30° \Rightarrow \text{sen } r \simeq 0{,}68 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \text{sen } r = 0{,}34 \Rightarrow r = \text{arc sen } (0{,}34) \therefore r \simeq 20°$$

Fique por dentro

Desvio da luz

ROUNINFAR, A. *et al*. Desvio da luz. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/bending-light. Acesso em: 29 jul. 2024.

O simulador permite verificar a trajetória da luz quando esta percorre dois meios com índices de refração absolutos diferentes. Com prismas de variadas formas demonstram-se diferentes maneiras de refração da luz.

Aplique e registre

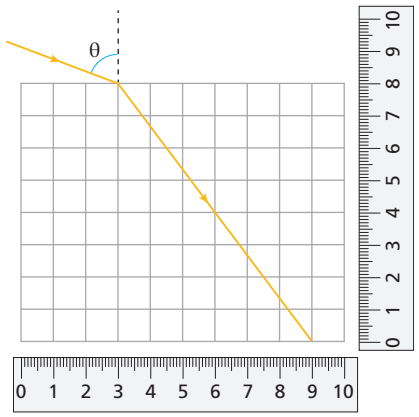
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

7. Considerando o enunciado da lei de Snell-Descartes, responda: o que acontece com um raio de luz ao atravessar obliquamente de um meio mais refringente para outro menos refringente? E quando ocorre o contrário?

7. Do meio mais refringente para o menos refringente, ele se afasta da reta normal; do meio menos refringente para o mais refringente, ele se aproxima da reta normal.

8. (Fema-SP) Um raio de luz monocromática, vindo do ar, penetra em uma cuba rasa que contém um líquido transparente. O raio incide na parede lateral da cuba sob um ângulo θ e segue paralelamente ao plano horizontal sobre o qual o fundo da cuba se encontra apoiado, como indica a figura.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Considere que o índice de refração absoluto do ar tenha valor 1 e que sen θ = 0,8. Nessas condições, o índice de refração absoluto do líquido é, aproximadamente,

8. Alternativa **c**.

a. 0,6 **b.** 1,0 **c.** 1,3 **d.** 1,6 **e.** 1,8

Reflexão total

Ao observar a superfície de separação entre a água e o ar, estando o observador imerso na água, e dependendo do ângulo em que se observa, essa interface pode se comportar como um espelho, refletindo intensamente a luz. O fenômeno da reflexão de toda a luz incidente na superfície de separação entre a água e o ar é chamado, nesse caso, de **reflexão total**.

Quando a luz se propaga de um meio mais refringente para um meio menos refringente, há um valor máximo do ângulo de incidência, chamado de **ângulo-limite** ou ângulo crítico (L), para que ainda ocorra a refração. Nesse ângulo, uma parcela mínima da luz incidente se refrata praticamente rasante à superfície de separação dos meios, com um ângulo de refração próximo de 90°. Se o ângulo de incidência for maior que o ângulo-limite, toda a luz é refletida de volta ao meio de origem, resultando em reflexão total. O cálculo do ângulo-limite pode ser feito aplicando-se a lei de Snell-Descartes:

$$n_1 \cdot \text{sen } L = n_2 \cdot \text{sen } 90°$$

O meio 1 tem índice de refração maior do que o meio 2 ($n_1 > n_2$), então o ângulo-limite fica determinado por:

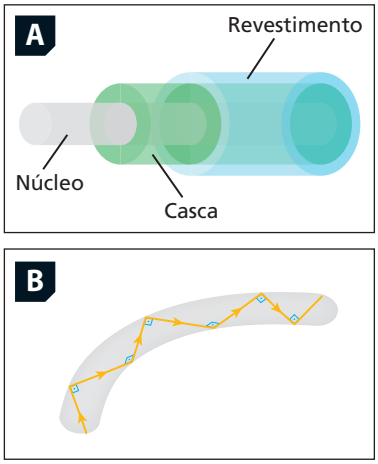
$$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}}$$

O fenômeno da reflexão total ocorre exclusivamente no meio mais refringente do dioptro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A reflexão total ocorre em **fibras ópticas**, usadas na condução de sinais luminosos e eletromagnéticos em aplicações como telecomunicações por serem leves, de baixo custo, e por terem grande capacidade de transmissão de dados e pouca perda de sinal.

Cada fibra óptica é formada basicamente por um filamento muito fino de vidro ou plástico que constitui o núcleo. O núcleo é envolto por uma camada de vidro formando uma espécie de casca, que é envolta por um revestimento (figura A). Um estreito feixe de luz produzido por uma fonte *laser*, por exemplo, penetra por uma das extremidades da fibra para sofrer ao longo do núcleo uma sucessão de reflexões totais (figura B).



Representações esquemáticas **(A)** da estrutura interna da fibra óptica e **(B)** da trajetória da luz em seu interior, com sucessivas reflexões totais. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Registre em seu caderno

EM FOCO Fibras ópticas

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

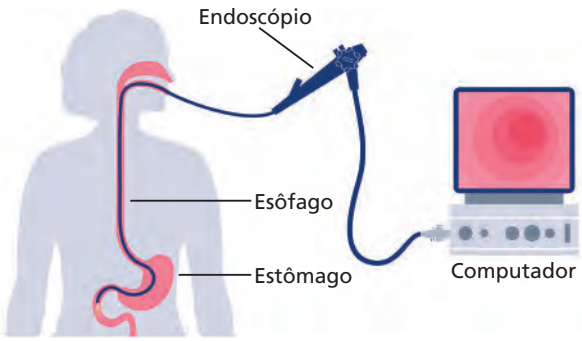
ODS 9 ODS 10 Idealizada há mais de 150 anos pelo físico britânico John Tyndall (1820-1893), a fibra óptica só ganhou viabilidade técnica a partir de 1955, quando métodos de fabricação mais sofisticados permitiram a confecção de condutores com diâmetros da ordem do micrômetro, o que é comparável a um fio de cabelo. No Brasil, as primeiras fibras ópticas foram fabricadas por volta de 1977, por físicos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp-SP). A partir daí, o Brasil posicionou-se na frente das pesquisas para ampliação do uso dessa tecnologia.

TIERO/GETTY IMAGES

Representação de um cabo de fibras ópticas.

As fibras ópticas são meios de transmissão que utilizam feixes de luz para enviar informações (sinais) de um ponto a outro, constituídas de cabos de vidro ou de um plástico especial, nos quais a luz se propaga por meio de reflexão total, que mantém a luz confinada no interior da fibra. Esse sinal sofre sucessivas reflexões totais com perdas muito pequenas e alta capacidade de transmissão.

As fibras ópticas são empregadas em diversas áreas da tecnologia, desde a saúde até as telecomunicações. Na área da saúde, são utilizadas em exames diagnósticos para transmitir imagens internas do corpo do paciente para computadores. Exames de cineangiocoronariografia (do coração), endoscopia (do esôfago e estômago) e colonoscopia (do cólon intestinal), por exemplo, utilizam fibras ópticas. Também as cirurgias robóticas, precisas e muito menos invasivas, são realizadas acoplando-se fibras ópticas às cânulas cirúrgicas (instrumentos que realizam o ato operatório a distância).



PIKOVIT/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Representação esquemática de um exame de endoscopia, utilizado para investigar as causas de problemas que afetam o esôfago, o estômago e parte do intestino, como gastrite, esofagite, sangramentos e tumores. (Imagem sem escala; cores-fantasia.

Porém, seu uso mais conhecido é na infraestrutura de telecomunicações, especialmente em operações de telefonia, televisão a cabo e internet. Nos últimos anos, a conexão à internet via fibra óptica foi fundamental para expandir o acesso à rede mundial de computadores no Brasil.

Apesar do crescimento significativo do acesso à internet no Brasil na última década, dados de 2023 indicaram que cerca de 20% da população ainda estava desconectada. Nas áreas rurais, o número saltava para 27%. A porcentagem de pessoas desconectadas é maior nas regiões Norte e Nordeste do país, e menor é na região Centro-Oeste.

A falta de conexão à internet pode dificultar o acesso a informações e serviços. Portanto, para a democratização do acesso às tecnologias da informação, diversas iniciativas de inclusão digital têm sido implementadas por governos municipais, estaduais e federal, com a distribuição de pontos de internet de forma gratuita em prédios públicos – como escolas, bibliotecas e centros de saúde –, em comunidades geograficamente distantes de centros urbanos –, como aldeias indígenas, comunidades quilombolas e assentamentos rurais – e até mesmo em praças públicas, que contam com roteadores para garantir acesso livre e gratuito ao público geral.

Continua

1. Enviar informações de um ponto a outro por meio de múltiplas reflexões totais da luz em seu interior.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes apontem aspectos como a extensão territorial, a qualidade na distribuição do sinal e o custo de instalação dessa tecnologia, por exemplo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

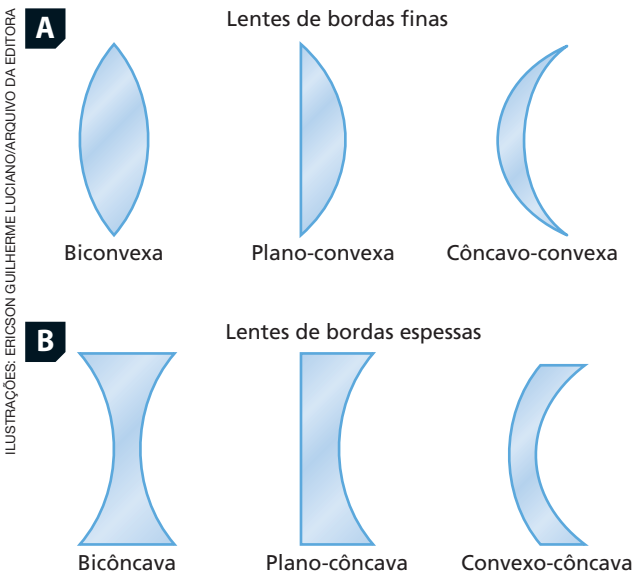
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre como a falta de acesso à internet e às tecnologias de informação pode aprofundar desigualdades e dificultar o acesso a direitos básicos, como à educação, por exemplo.

1. Qual é a função da fibra óptica?
2. Em sua opinião, quais são as maiores dificuldades na distribuição de redes de internet no Brasil? Por quê? Se necessário, realize uma pesquisa sobre o tema.
3. Em sua opinião, quais são os principais desafios individuais e coletivos da falta de acesso de parte da população à internet?

Lentes esféricas

A **lente esférica** é um sistema óptico composto de dois meios transparentes e homogêneos, separados por duas faces esféricas ou por uma face esférica e a outra plana. Geralmente, o meio interno – material da lente – é constituído de vidro, plástico, acrílico ou policarbonato, e o meio externo é o ar.

É possível distinguir seis tipos diferentes de lentes, levando-se em conta a curvatura de suas faces. Para um observador externo à lente, que esteja olhando cada uma de suas faces, estas podem apresentar-se côncavas, convexas ou planas. As lentes ainda podem ser classificadas de acordo com suas bordas, que podem ser menos espessas que a parte central, denominadas **lentes de bordas finas**, ou mais espessas que a parte central, chamadas **lentes de bordas grossas ou espessas**.

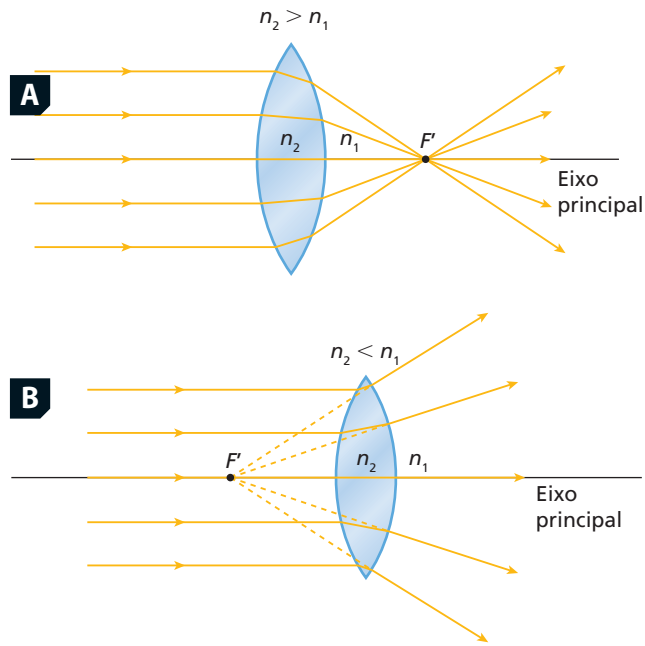


ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos perfis de lentes esféricas: **(A)** bordas finas; **(B)** bordas espessas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

O princípio de funcionamento das lentes baseia-se na refração. A luz sofre uma primeira refração ao incidir na superfície de separação entre o meio externo à lente e o material que a constitui e, novamente, ao retornar para o meio de origem.

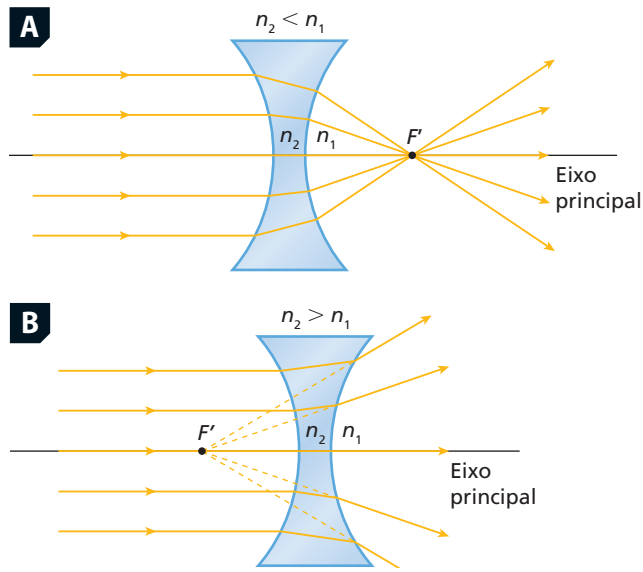
Analisando-se as lentes quanto à convergência dos raios de luz, as lentes de bordas finas são convergentes quando $n_2 > n_1$ e divergentes quando $n_2 < n_1$.



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de lentes de bordas finas: **(A)** convergentes, quando $n_2 > n_1$, e **(B)** divergentes, quando $n_2 < n_1$. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Já as lentes de bordas espessas são convergentes quando $n_2 < n_1$ e divergentes quando $n_2 > n_1$.



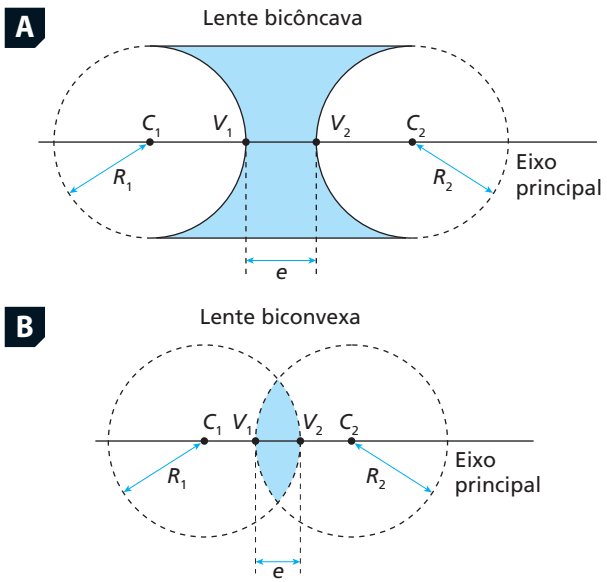
ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de lentes de bordas espessas: **(A)** convergentes, quando $n_2 < n_1$, e **(B)** divergentes, quando $n_2 > n_1$. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Elementos geométricos das lentes esféricas

Pode-se considerar que a lente esférica é formada geometricamente por seções de uma ou duas esferas. Assim, cada face da lente tem seu raio de curvatura *R* e seu respectivo centro de curvatura *C*, disposto sobre o eixo principal (ou eixo óptico) da lente de espessura *e*. Os pontos de intersecção entre as faces esféricas e o eixo principal são os vértices (V_1 e V_2), como mostram as figuras a seguir para as lentes bicôncava (figura A) e biconvexa (figura B).



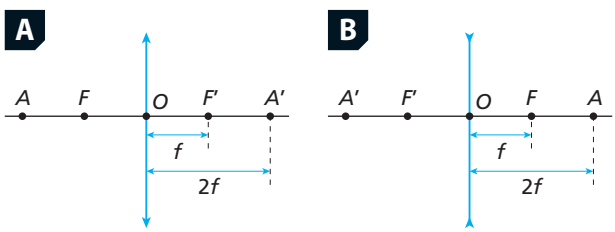
ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática dos elementos geométricos das lentes **(A)** bicôncava e **(B)** biconvexa. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A lente é chamada de **delgada** se sua espessura for desprezível quando comparada ao tamanho dos raios de curvatura de suas faces. Nesse caso, os vértices ocupam aproximadamente o mesmo local do eixo principal, cujo ponto passa a ser chamado de **centro óptico *O*** da lente.

Outros pontos importantes são o **foco objeto *F*** e o **foco imagem *F'***, equidistantes ao centro óptico *O*, denominada **distância focal *f***. A uma distância 2*f* estão localizados os pontos *A* e *A'*, chamados de **pontos antiprincipais**.

As lentes delgadas podem ser classificadas em convergentes ou divergentes.



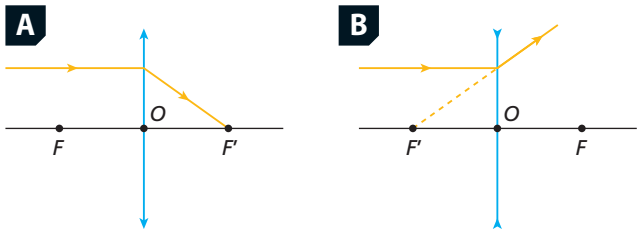
ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de lentes delgadas **(A)** convergentes e **(B)** divergentes. (Imagens sem escala.)

Raios notáveis

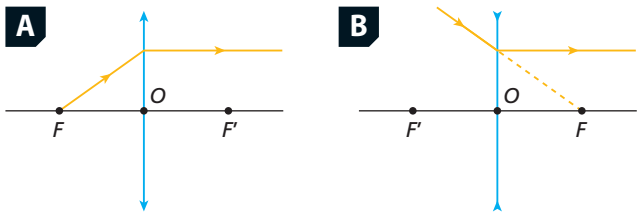
Assim como nos espelhos esféricos, vamos analisar as propriedades dos raios notáveis ao atravessarem as lentes delgadas, que apresentam propriedades específicas.

A primeira delas se dá quando um raio de luz incide paralelamente ao eixo principal da lente. Nesse caso, ele se refrata alinhado com o foco imagem *F'*.



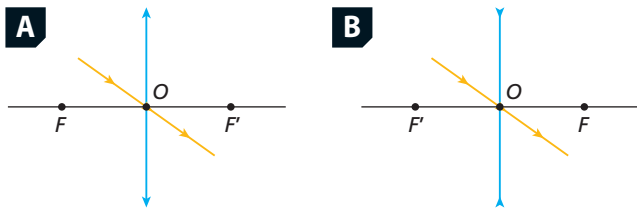
Representação esquemática de um raio de luz incidindo paralelamente ao eixo principal de uma lente delgada convergente **(A)** e de uma lente delgada divergente **(B)**. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A segunda propriedade se dá quando um raio de luz incide alinhado com o foco objeto *F*. Nesse caso, ele se refrata paralelamente ao eixo principal da lente.



Representação esquemática de um raio de luz incidindo na direção do foco objeto F de uma lente delgada convergente **(A)** e de uma lente delgada divergente **(B)**. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A terceira propriedade se dá quando um raio de luz incide no centro óptico *O* da lente. Nesse caso, ele se refrata sem sofrer desvio algum.



Representação esquemática de um raio de luz incidindo no centro óptico *O* de uma lente delgada convergente **(A)** e de uma lente delgada divergente **(B)**. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Formação de imagens

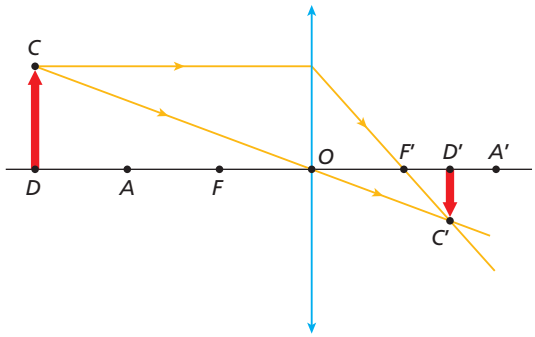
Agora, vamos analisar as características das imagens formadas pelas lentes convergentes, dado um objeto representado por uma seta vermelha *CD* e sua respectiva imagem, representada por uma seta vermelha *C'D'*.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

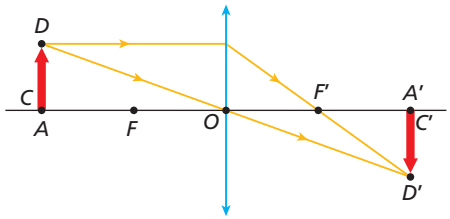
Quando o objeto está situado antes do ponto antiprincipal *A*, a imagem será real, invertida e menor que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma lente convergente com um objeto antes do ponto *A*. (Imagem sem escala; cores fantasia.)

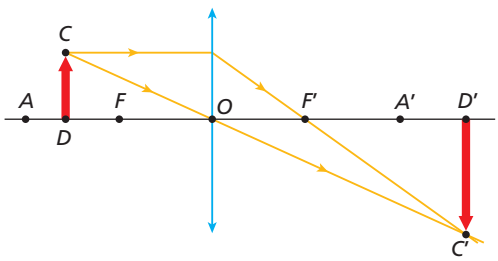
Quando o objeto está situado sobre o ponto antiprincipal *A*, a imagem será real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma lente convergente com um objeto no ponto *A*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

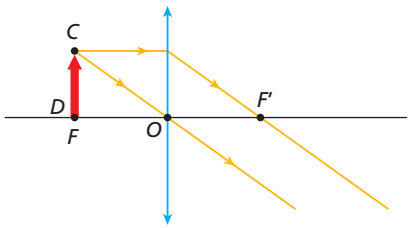
Quando o objeto está situado entre o ponto antiprincipal *A* e o foco objeto *F*, a imagem será real, invertida e maior que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma lente convergente com um objeto entre *A* e *F*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

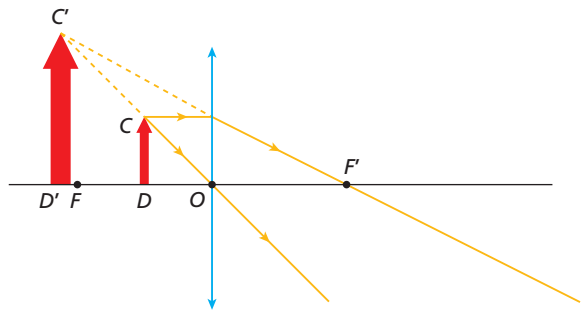
Quando o objeto está situado sobre o foco objeto *F*, a imagem ocorre no infinito e é denominada **imprópria**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma lente convergente com um objeto sobre o ponto *F*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando o objeto está situado entre o foco objeto *F* e o centro óptico *O*, a imagem é virtual, direita e maior que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

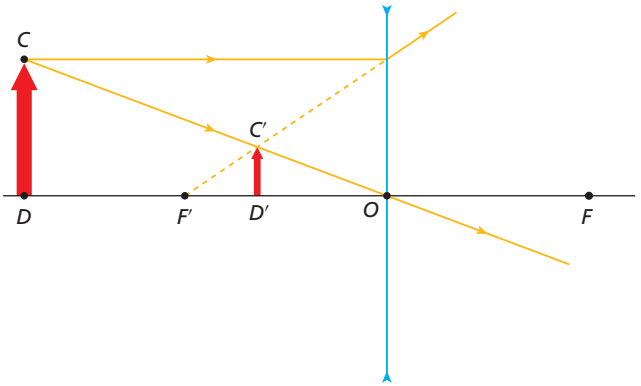
Representação esquemática de uma lente convergente com um objeto entre *F* e *O*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Nas lupas ou lentes de aumento, que nada mais são que lentes convergentes com o objeto situado entre *F* e *O*, a imagem formada é ampliada, como mostra a figura a seguir.

KILUKILU/SHUTTERSTOCK

Lente de aumento (lupa) sendo usada para análise de impressões digitais.

Para as lentes divergentes, finalmente, qualquer que seja a posição do objeto colocado diante da lente, a imagem formada é sempre virtual, direita e menor do que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

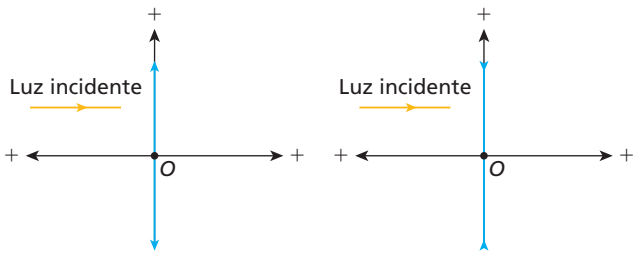
Representação esquemática de uma lente divergente com um objeto situado à sua frente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Equação de Gauss e ampliação

A posição, o tamanho e a natureza da imagem fornecida por uma lente podem ser determinados da mesma forma que em um espelho esférico. Para isso, adotamos o **referencial de Gauss**, ou **referencial gaussiano** para lentes delgadas.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do referencial gaussiano para uma lente delgada convergente e para uma lente delgada divergente. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Com base nesse referencial, é possível relacionar a distância (ou abscissa) focal, a posição (ou abscissa) do objeto e a posição (ou abscissa) da imagem a partir da **equação de Gauss**:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Em que f é a distância (ou abscissa) focal, p é a distância do objeto à lente (ou abscissa do objeto) e p' é a distância da imagem à lente (ou abscissa da imagem).

De acordo com o referencial de Gauss para lentes delgadas, temos:

- $f > 0$ para lentes convergentes;
- $f < 0$ para lentes divergentes;
- $p' > 0$ para imagens reais;
- $p' < 0$ para imagens virtuais.

A relação entre o tamanho (ou ordenada) i da imagem e o tamanho (ou ordenada) o do objeto é chamada de **aumento linear transversal *A***, ou **ampliação**, podendo ser calculada da mesma maneira que no caso dos espelhos esféricos, portanto:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

Dado o valor do módulo de A, é possível saber se a imagem formada foi ampliada, reduzida ou manteve o tamanho do objeto.

- Se $|A| > 1$, a imagem foi ampliada.
- Se $|A| < 1$, a imagem foi reduzida.
- Se $|A| = 1$, o tamanho da imagem se manteve igual ao do objeto.

Já pelo sinal de A, é possível saber se a imagem é direita ou invertida.

- Se $A > 0$, a imagem é direita.
- Se $A < 0$, a imagem é invertida.

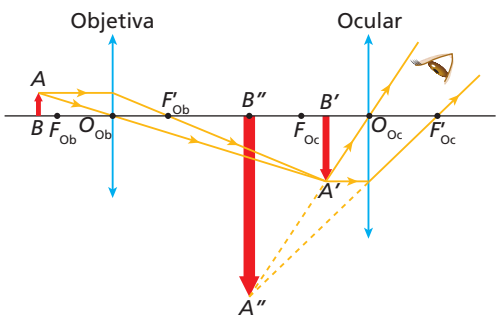
Instrumentos ópticos

Anteriormente, estudamos como uma lente forma uma imagem de um objeto e os tipos possíveis de imagens formadas. Agora, vamos investigar como essas imagens podem ser utilizadas de modo prático para facilitar a visualização de objetos, por meio de ampliação ou redução. Alguns instrumentos, como a lupa e as máquinas fotográficas básicas, têm apenas uma lente. Outros instrumentos são compostos, ou seja, precisam de mais de uma lente para formar a imagem final.

Microscópio composto

Para observar objetos muito pequenos, que são dificilmente visíveis a olho nu, é necessário o uso de instrumentos ópticos mais sofisticados, como o microscópio composto, que é formado pelo conjunto de duas ou mais lentes convergentes, permitindo maior ampliação do objeto.

De modo geral, um microscópio composto possui uma lente convergente denominada **objetiva**, com distância focal da ordem de milímetros, que fica mais próxima do objeto a ser observado. Há uma segunda lente, também convergente, chamada **ocular**, com distância focal da ordem de centímetros, que fica mais próxima do olho do observador. A objetiva é responsável por fornecer uma imagem real, invertida e ampliada do objeto. Usando essa imagem, a ocular fornece uma imagem final virtual, direita (em relação ao objeto que lhe dá origem, mas invertida em relação ao objeto em observação) e ampliada; portanto, a ocular funciona como uma lupa, aumentando a imagem fornecida pela objetiva.



Representação esquemática das lentes objetiva e ocular de um microscópio composto. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Quando uma observação microscópica precisa ser feita em uma escala de tamanho menor do que 0,2 micrômetro, são utilizados microscópios eletrônicos, que permitem observar objetos na escala de nanômetros (10^{-9} m). Eles funcionam de maneira semelhante aos microscópios compostos, mas utilizam feixes de elétrons no lugar dos raios de luz. Enquanto as lentes dos microscópios ópticos são feitas de vidro para o direcionamento dos raios de luz, nos microscópios eletrônicos são usadas lentes

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

eletromagnéticas, formadas por ímãs imersos em campos elétricos, para desviar os feixes de elétrons.

Estudos na área de Nanotecnologia possibilitaram o desenvolvimento dos microscópios eletrônicos: de varredura, nos quais os elétrons refletidos na superfície da amostra formam a imagem, e de transmissão, onde o feixe de elétrons atravessa a amostra para formar a imagem. Com esses instrumentos é possível estudar as propriedades da matéria em escala atômica e os vírus, por exemplo.

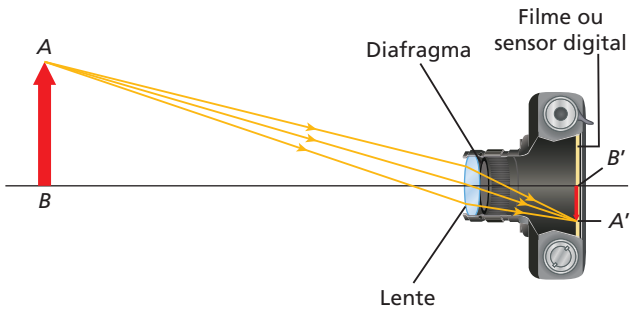
Câmera fotográfica

As câmeras fotográficas do século XIX utilizavam papel ou vidro cobertos com sais de prata sensíveis à luz para fixar a imagem. No século XX, esses elementos foram substituídos por bobinas flexíveis de celulose com a mesma função, incluindo filmes coloridos com três camadas de sais sensíveis às cores azul, verde e vermelha. Após a exposição do filme à luz, a imagem invertida (negativo) era formada, e, no processo de revelação do filme fotográfico e da ampliação da fotografia, a imagem era transferida e gravada, obtendo-se o positivo. Já as câmeras fotográficas digitais, como as dos celulares, registram imagens digitais por meio de sensores eletrônicos compostos de microcircuitos. A luz incide sobre milhões de sensores que geram tênues sinais elétricos convertidos em dados digitais por um *chip*, em que cada ponto da imagem é um *pixel*.

ROBERT KNESCHKE/SHUTTERSTOCK

Fotógrafo forense usando uma câmera fotográfica digital para registros do ambiente, que serão analisados posteriormente.

No processo de captação da imagem, seja em filme, seja digitalmente, é comum o uso de lentes. As câmeras usam uma lente convergente, denominada objetiva, cuja função é conjugar uma imagem real (*A'B'*) e menor do objeto (*AB*) para ser projetada em seu interior.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma câmera fotográfica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

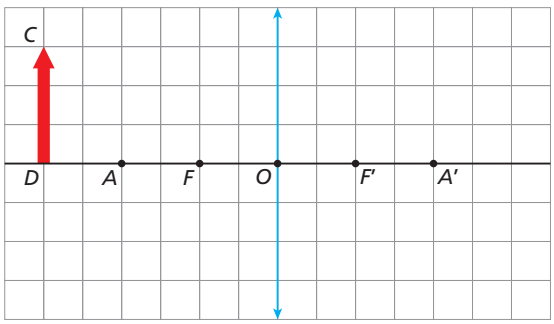
Outra parte importante da câmera é o diafragma, que regula a entrada e a intensidade da luz.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

9. Um objeto é posicionado na frente de uma lente delgada convergente, conforme a figura a seguir. O ponto *O* é o centro óptico da lente, *F* e *F'* são os focos e *A* e *A'*, os respectivos pontos antiprincipais. Quais serão as características da imagem formada nessa situação?



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um objeto *CD* posicionado na frente de uma lente convergente.

9. Real, invertida e menor do que o objeto.

10. A lupa ou microscópio simples foi o primeiro dispositivo óptico de aumento utilizado em observações, tendo sua origem na Grécia antiga. As primeiras lupas eram feitas de cristal de rocha ou quartzo, que era polido e moldado em forma de lente convexa. 10. $f = 25$ cm

GEORGIA TSOUVALA E LEE L. BRICE

Artefatos compostos de vidro plano-convexo e anéis de bronze, datando entre 750 a.C. e 700 a.C. Evidências científicas sugerem que esses artefatos, descobertos na ilha grega de Rodes, podem ser alguns dos primeiros exemplos de lupa do mundo antigo.

Considerando a distância entre uma lupa gaussiana e um objeto igual a 20 cm e sabendo que a ampliação linear transversal proporcionada por essa lupa, nesse caso, é de 5 vezes, determine a distância focal *f* dessa lente.

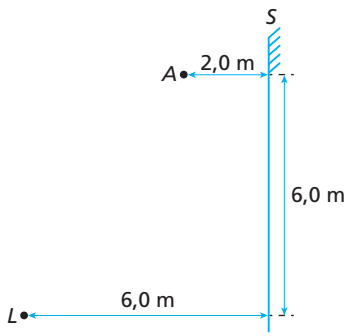
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Fuvest-SP) A figura representa um objeto *A*, colocado a uma distância de 2,0 m de um espelho plano *S*, e uma pequena lâmpada *L*, colocada à distância de 6,0 m do espelho:

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



1. a. Construção de figura.

a. Copie a figura e desenhe o raio emitido por *L* e refletido por *S* que atinge *A*. Explique a construção.

b. Calcule a distância percorrida por esse raio. 1. b. 10,0 m

2. Os fogões solares representam uma alternativa acessível e ecologicamente sustentável, especialmente em ambientes campestres ou marítimos. Esses dispositivos, compostos de espelhos côncavos, direcionam a luz para o foco principal, onde as panelas são colocadas para cozinhar os alimentos.

SLEPITSSKAYA/SHUTTERSTOCK

Fogão solar.

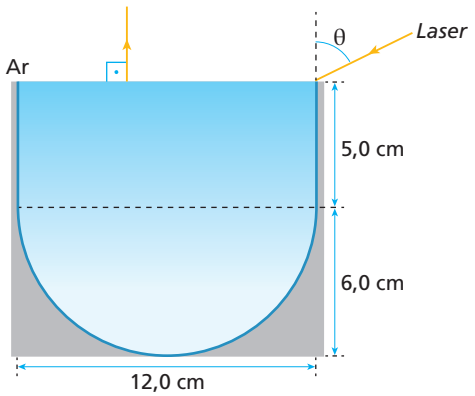
Considere um espelho esférico côncavo gaussiano utilizado como fogão solar, com a recomendação de posicionar a panela a 40 cm do vértice do espelho para alcançar a máxima eficiência. Agora, considere um observador que se coloca diante desse espelho em duas posições distintas: *A* a 50 cm do vértice e *B* a 30 cm do vértice. Determine a distância da imagem do observador ao espelho, bem como as características dessa imagem (real ou virtual; direita ou invertida; maior ou menor que o objeto), nos seguintes casos: 2. a. 200 cm (real, invertida e maior do que o objeto)

a. para o observador na posição *A*;

b. para o observador na posição *B*.

2. b. 120 cm (virtual, direita e maior do que o objeto)

3. Para determinar o índice de refração absoluto n_L de um líquido transparente, um pesquisador direcionou um estreito feixe cilíndrico de luz *laser* para a borda de um recipiente completamente preenchido com o líquido, conforme mostrado no esquema. O ângulo de incidência do feixe é θ, com sen θ = 0,75.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da incidência do *laser* na borda do recipiente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O fundo do recipiente é hemisférico, com raio de curvatura $R = 6{,}0$ cm, e sua superfície interna (côncava) é espelhada. Assim, a luz que se propaga no interior do líquido é refletida no espelho, emergindo do recipiente perpendicularmente à superfície líquida. Vale ressaltar que o caminho óptico da luz dentro do líquido não está representado. Considerando o índice de refração absoluto do ar externo como 1,00 e supondo que o espelho côncavo obedeça às condições de Gauss, determine n_L.

3. $n_L \simeq 1{,}3$

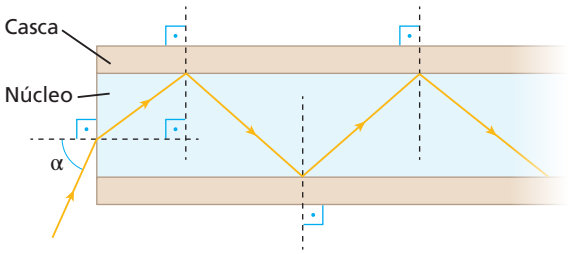
4. Como é possível inspecionar partes internas de motores ou turbinas de aviões sem desmontá-los por completo? A tarefa demandaria tempo, mão de obra especializada e altos custos. Atualmente, boroscópios são empregados para essa finalidade. Esses equipamentos consistem em uma microcâmera acoplada a um sistema de iluminação, inserida através de pequenas janelas preexistentes nos mecanismos. As imagens capturadas são transmitidas para um monitor, geralmente por um cabo de fibra óptica, e analisadas por profissionais de manutenção.

TRONG NGUYEN/SHUTTERSTOCK

Boroscópio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere um trecho da fibra óptica de um boroscópio, como o representado no esquema, em que o núcleo e a casca têm índices absolutos de refração respectivamente iguais a 1,5 e 1,2.



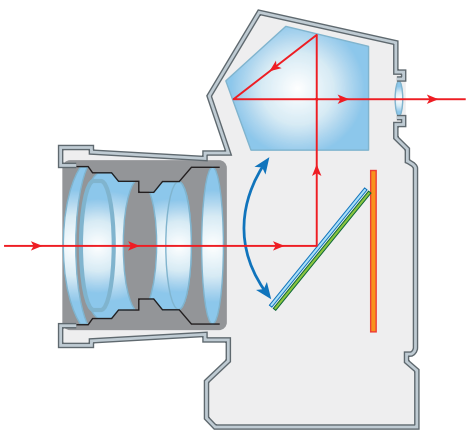
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um trecho de fibra óptica de um boroscópio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Um estreito filete de luz monocromática proveniente do ar (índice absoluto de refração igual a 1,0) incide na interface entre o ar e o núcleo, como mostra a figura, com um ângulo α. Qual deve ser o maior valor de α para que essa luz atravesse a fibra óptica sofrendo sucessivas reflexões totais?

Adote, se necessário: sen 37° = cos 53° = 0,6 e sen 53° = cos 37° = 0,8. 4. $\alpha \simeq 64°$

5. (USCS-SP) Os segmentos de reta em vermelho na figura representam a trajetória de um raio de luz que se propaga no interior de uma câmera fotográfica. Na parte superior da figura, observa-se que o raio de luz sofre duas reflexões internas em um prisma.



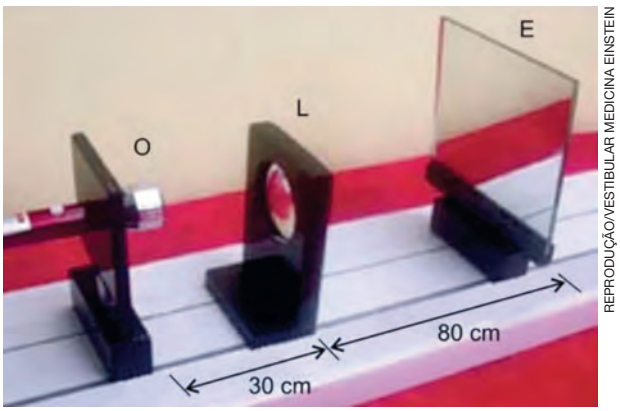
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Considere que esse prisma está imerso no ar, que o índice de refração absoluto do ar é igual a 1,0, que o menor ângulo que esse raio de luz forma com a reta normal à superfície em suas reflexões no interior desse prisma é igual a 42° e que sen 42° = 0,67. Para que ocorra reflexão total desse raio de luz no interior desse prisma, o índice de refração absoluto do material que o constitui deve ser, no mínimo, igual a: 5. Alternativa **e**.

a. 1,15
b. 1,25
c. 1,33
d. 1,42
e. 1,50

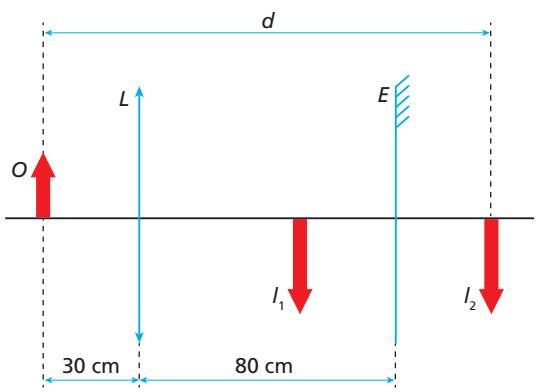
6. Uma vela está acesa sobre uma mesa horizontal, a uma distância de 100 cm de uma parede vertical. Existem duas posições em que uma lente convergente gaussiana, com distância focal de 16 cm, pode ser colocada paralelamente à parede, entre a vela e a parede, para projetar uma imagem nítida da vela. Quais são as distâncias entre a lente e a vela para que essas duas projeções ocorram com nitidez? 6. 20 cm e 80 cm

7. (Med. Einstein-SP) Em um laboratório didático, foi montado um banco óptico formado por uma lente esférica convergente *L* de distância focal igual a 20 cm, um espelho plano *E* e uma lanterna acesa, funcionando como o objeto *O*. A fotografia representa esse sistema com as distâncias entre seus elementos, fora de escala.



REPRODUÇÃO/VESTIBULAR MEDICINA EINSTEIN

Em seguida, o professor propõe um exercício com a figura a seguir, que resume o experimento realizado. Nessa figura, a lâmpada acesa da lanterna é representada pela seta *O*, a seta I_1 representa a imagem dessa lâmpada formada pela lente *L*, e I_2 representa a imagem da seta I_1 formada pelo espelho *E*.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando válidas as condições de nitidez de Gauss, a distância *d*, entre *O* e I_2, é 7. Alternativa **a**.

a. 1,3 m.
b. 1,4 m.
c. 1,5 m.
d. 1,6 m.
e. 1,8 m.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 18

Ondas

NOONVIRACHADA/SHUTTERSTOCK

Duas pessoas conversando com um telefone construído usando latas e barbante.

No dia a dia estamos rodeados por ondas, a maioria das quais não enxergamos. Ondas são perturbações que se propagam em um determinado meio, material ou imaterial (vácuo). Os sons gerados quando falamos, se propagando no ar, são um exemplo de ondas. Na tradicional brincadeira com telefone usando latas e barbante, as vibrações se propagam ao longo do barbante. Há, no entanto, ondas que não precisam de um meio material para se propagar, caso das ondas eletromagnéticas, como a luz do Sol, e das ondas de transmissão de rádio, televisão e telefonia celular, que podem se propagar em alguns meios materiais e também no vácuo.

Neste capítulo, iniciaremos o estudo das ondas, estudaremos os movimentos periódicos, os conceitos de período e frequência, a propagação e as características de pulsos e ondas, e os fenômenos relacionados a eles.

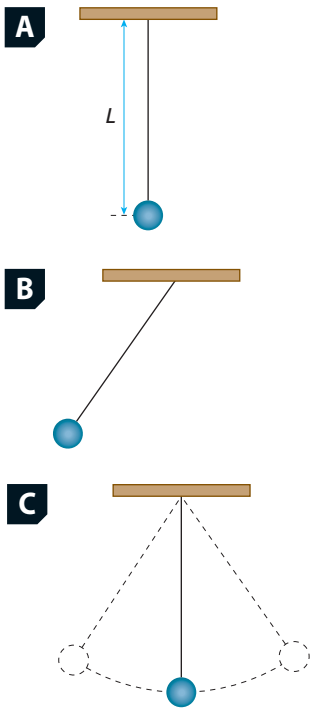
Pêndulo simples

O físico italiano Galileu Galilei (1564-1642), ao estudar o movimento periódico de pêndulos, percebeu que poderia usar sua frequência cardíaca como referência para medir a frequência de oscilação desses pêndulos e constatou que ela não dependia da massa do objeto oscilante. Esse conceito foi essencial para a invenção do relógio de pêndulo, em 1656, pelo matemático e físico neerlandês Christiaan Huygens (1629-1695). Ele também é importante em diversas outras aplicações tecnológicas envolvendo eventos que ocorrem em intervalos de tempo iguais, como em telecomunicações e na geração de energia elétrica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Movimentos idênticos que se repetem em determinado intervalo de tempo *T*, denominado período, são chamados **movimentos periódicos**. Vamos começar o estudo dos movimentos periódicos considerando o caso de um **pêndulo simples** (figura A).

Na figura B, o movimento inicia quando o pêndulo é deslocado ligeiramente para uma das laterais e solto em seguida; assim, o pêndulo passa a oscilar de um lado para o outro (figura C). O movimento periódico do pêndulo, também chamado de **movimento oscilatório**, consiste no deslocamento entre dois pontos em um intervalo de tempo que, se não houver resistências passivas, é constante.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação de um pêndulo simples na posição de equilíbrio. **(B)** A esfera é deslocada ligeiramente para a lateral e é solta em um ambiente de influência do ar desprezível. **(C)** A esfera passa a oscilar periodicamente, ou seja, a deslocar-se de um lado para outro em um dado intervalo de tempo regular (período *T*).

Para descrever esse movimento, precisamos definir as grandezas usadas como referência. O movimento completo, que consiste no movimento de ida e volta ao ponto de onde a esfera foi solta, é uma **oscilação**, e o intervalo de tempo necessário para a realização de uma oscilação é chamado de **período** (***T***). O número de vezes que esse movimento é repetido em um intervalo de tempo é denominado **frequência** (***f***).

O período e a frequência são grandezas inversamente proporcionais e é comum dizermos que o período é o inverso da frequência ou que a frequência é o inverso do período:

$$T = \frac{1}{f}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida do período é o **segundo** (**s**) e a da frequência, medida em oscilações por segundo, é o **hertz** (**Hz**), em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894), considerado um dos pais das telecomunicações.

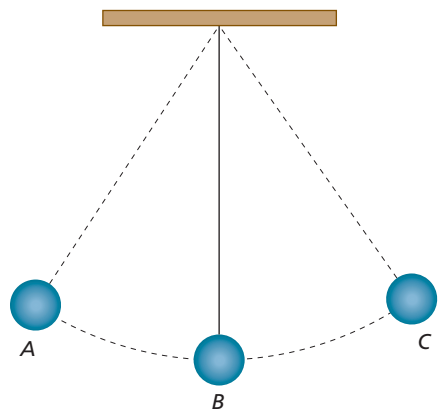
No caso de um pêndulo simples e considerando oscilações de pequena amplitude, isto é, oscilações cujo ângulo com a vertical não é maior do que 5°, o cálculo do período (*T*) é dado por:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Em que *L* é o comprimento do fio do pêndulo simples e *g* é a intensidade da aceleração da gravidade.

Com base nessa expressão, é possível inferir que, nas condições de oscilações de pequena amplitude e em um mesmo local, o período depende apenas do comprimento do fio do pêndulo, ou seja, quanto maior for o comprimento do fio, maior será o período. Assim, quadruplicando-se o comprimento *L*, *T* dobra.

Podemos descrever o movimento do pêndulo simples com relação à sua velocidade. Vamos considerar que um pêndulo oscile entre três pontos, conforme representado a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

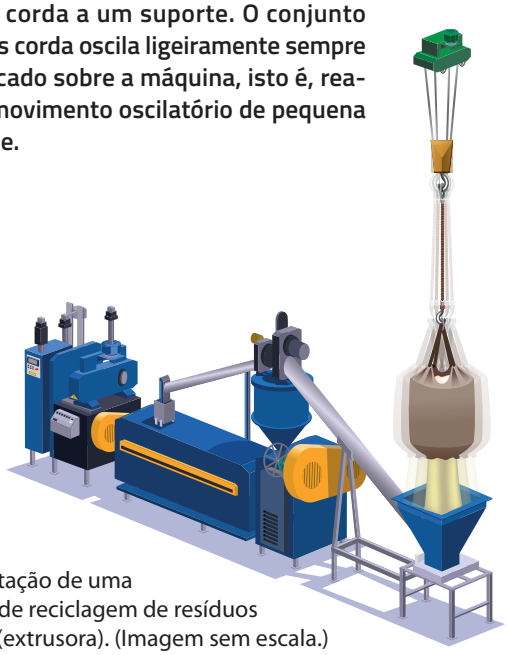
Representação de um pêndulo simples oscilando.

O pêndulo parte do ponto *A*, onde tem velocidade inicial nula. A intensidade da velocidade aumenta à medida que o pêndulo se desloca até o ponto *B*, onde atinge valor máximo. Em seguida, a intensidade da velocidade começa a diminuir e o pêndulo se eleva até atingir o ponto *C*, aonde chega com velocidade nula. Então, ele começa a se deslocar novamente em direção ao ponto *B* e a intensidade de sua velocidade aumenta no sentido oposto ao do inicial, chegando novamente ao ponto *B* com velocidade de intensidade máxima. Nesse instante, a intensidade da velocidade começa a diminuir novamente e o pêndulo se desloca em direção ao ponto *A*, repetindo, em seguida, o ciclo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Na reciclagem de resíduos plásticos por uma máquina extrusora, o plástico moído é inserido em um saco preso por uma corda a um suporte. O conjunto saco mais corda oscila ligeiramente sempre que colocado sobre a máquina, isto é, realiza um movimento oscilatório de pequena amplitude.



Representação de uma máquina de reciclagem de resíduos plásticos (extrusora). (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Vamos supor que a corda que prende esse saco tenha 2 m de comprimento.

a. **Qual é o período de oscilação do pêndulo formado pelo conjunto saco mais corda?**

b. **E a frequência desse pêndulo?**

c. **À medida que a massa do saco vai diminuindo, devido ao escoamento do plástico para a máquina, o que ocorre com o período e com a frequência da oscilação?**

Considere $g = 10\ m/s^2$ e $\pi = 3{,}14$.

Analisar o enunciado

Na máquina extrusora de plástico, o conjunto saco mais corda realiza um movimento oscilatório.

Selecionar as informações relevantes

As características importantes para o estudo do movimento desse pêndulo simples são o comprimento da corda que prende o saco ao suporte (2 m) e a intensidade da aceleração da gravidade à qual o sistema está submetido ($g = 10\ m/s^2$).

Aplicar o conceito estudado

a. Ao realizar o movimento oscilatório, o conjunto oscila como um pêndulo de pequena amplitude, logo, ele pode ser considerado um pêndulo simples, cujo período é dado por:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T = 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sqrt{\frac{2\ m}{10\ m/s^2}} \therefore T \simeq 2{,}8\ s$$

b. A frequência pode ser calculada como:

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{2{,}8\ s} \therefore f \simeq 0{,}35\ Hz$$

c. Para um pêndulo simples, o período e a frequência não dependem da massa suspensa do pêndulo, ou seja, com a redução do valor da massa, o período e a frequência do pêndulo simples permanecem constantes.

Verificar a solução

Como o conjunto pode ser considerado um pêndulo simples, com oscilações de pequena amplitude, o período e a frequência podem ser calculados pelas seguintes relações, respectivamente, $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$ e $f = \frac{1}{T}$.

Note que, de acordo com essas expressões, o período e a frequência da oscilação não dependem da massa do saco.

E se o comprimento do fio (L) mudar (aumentar ou diminuir), o movimento oscilatório do conjunto também mudará? O que ocorrerá com o período e com a frequência da oscilação?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sistema massa-mola ideal

Uma força que traz o corpo de volta para a posição de equilíbrio, é chamada de **força restauradora**. Muitas vezes é importante analisar o movimento e as possíveis oscilações resultantes em sistemas com forças restauradoras, como em pêndulos simples, massa presa a uma mola, cordas de instrumentos musicais etc.

Vamos analisar um modelo simplificado de um corpo preso a uma mola (uma força restauradora) e a oscilação presente nesse sistema; por exemplo, uma mola conectada a uma massa que desliza seguindo uma trajetória retilínea em um plano horizontal sem atrito. Esse oscilador é chamado de **sistema massa-mola** ideal. A oscilação da massa ocorre em razão de a força elástica ($F_{elást.} = -k \cdot x$) da mola agindo como uma força restauradora orientada para a posição de equilíbrio do sistema. Esse movimento também é conhecido como **movimento harmônico simples** (**MHS**).

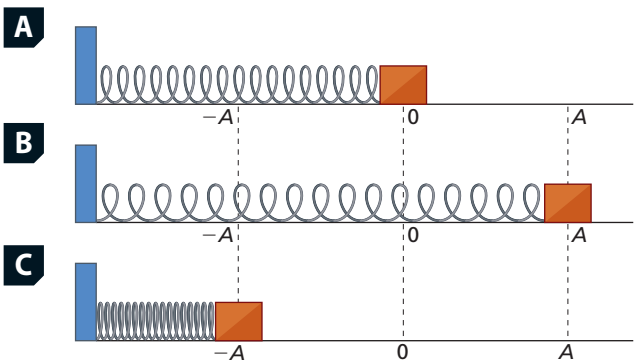
Para iniciar o MHS, a massa é deslocada da posição de equilíbrio (figura A) até o ponto *A* por uma força externa (figura B). Assim que a massa é solta, a mola se contrai levando a massa até o ponto 0 e, a partir daí, a mola é pressionada pela inércia da massa até que esta chegue ao ponto *–A* (figura C). Como, nesse momento, a mola está comprimida, ela se distende levando a massa até o ponto 0. A partir desse ponto, a inércia da massa faz com que a mola continue se distendendo e a massa chega novamente ao ponto *A*. Em seguida, reinicia-se o ciclo sem a aplicação de nova força externa.

A distância entre a posição de equilíbrio 0 e o ponto *A* (ou *–A*), ou seja, entre o ponto 0 e os pontos de inversão de sentido do movimento, é denominada **amplitude da oscilação**. Em outras palavras, é a máxima extensão ou afastamento que a massa atinge durante seu movimento periódico.

O período de oscilação do sistema massa-mola ideal é calculado pela seguinte expressão:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Em que *T* é o período, medido em s, *m* é a massa, medida em kg, e *k* é a constante elástica da mola ou constante de força do oscilador, medida em N/m.



Representação de um sistema massa-mola **(A)** em repouso na posição de equilíbrio, **(B)** quando a massa é deslocada para o ponto *A* e **(C)** quando a mola é comprimida no ponto *–A*.

ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. (Enem) Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que, no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas.

Fonte: elaborado com base em YODER, J. G. **Unrolling Time**: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o(a) 1. Alternativa **a**.

a. comprimento da haste seja mantido constante.
b. massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
c. material da haste possua alta condutividade térmica.
d. amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
e. energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

2. Considere um relógio de pêndulo tipo carrilhão, como o da fotografia, em que a massa pendular em forma de disco é sustentada por uma haste metálica retilínea de massa desprezível. 2. O relógio atrasa.

Esse relógio funciona corretamente se o período de oscilação do pêndulo permanecer constante, de acordo com um padrão de tempo. Em um dia de calor intenso, em que a haste do pêndulo sofre expressiva dilatação térmica, o que acontece com o funcionamento do relógio: ele se mantém, o relógio atrasa, ou o relógio adianta?

POETRA.RH/SHUTTERSTOCK

Relógio de pêndulo tipo carrilhão.

Propagação de pulsos e ondas

Na Física, há fenômenos nos quais a matéria se propaga de fato e outros em que há propagação de energia sem propagação de matéria. Estes últimos são classificados como **fenômenos ondulatórios**.

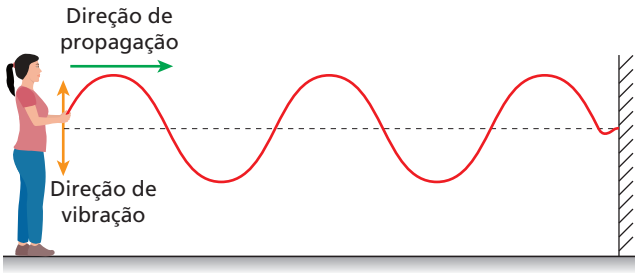
Ondas são perturbações que se propagam em um determinado meio, material ou imaterial (vácuo). Ondas que se propagam necessariamente em meios materiais são chamadas de **ondas mecânicas**. São exemplos as ondas sonoras, as ondas do mar e as ondas sísmicas, que são criadas por vibrações no interior da Terra, como em terremotos. Ondas que se propagam no vácuo e também em certos meios materiais são chamadas de **ondas eletromagnéticas**. As ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha, a luz visível, a radiação ultravioleta, os raios X e os raios gama são exemplos de ondas eletromagnéticas.

Para entender as características principais das ondas, iniciaremos com um modelo mecânico. Considere uma pessoa segurando a extremidade de uma corda presa a um ponto de uma parede vertical ou, conforme mostra a figura a seguir, duas cordas. A pessoa dá uma única sacudida em cada corda na direção vertical e gera perturbações que se deslocam até a extremidade oposta. Essa única perturbação que se verifica em cada corda é chamada de **pulso**. Sua principal característica é transportar energia sem transportar matéria.

DENIS KORNILOV/SHUTTERSTOCK

Nesse exercício, há a geração e a propagação de um pulso em cada corda, meio pelo qual o pulso se propaga, transportando energia.

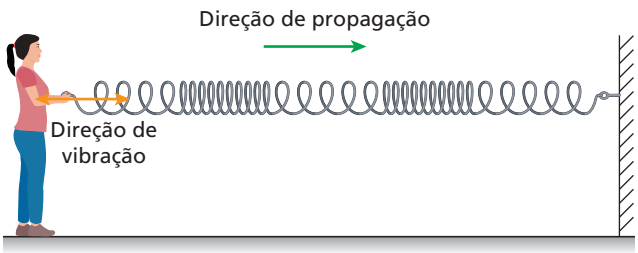
Uma sequência de pulsos repetidos forma uma **onda** (ou um trem de pulsos), que, assim como o pulso, também transporta energia sem transportar matéria. O pulso e a onda podem oscilar na direção **transversal**, isto é, a vibração no meio é perpendicular à direção de propagação da onda, que é o caso da onda se propagando na corda, como mostra a figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de uma onda transversal que se propaga em uma corda. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Além da direção transversal, a onda pode oscilar na direção **longitudinal**, ou seja, a vibração no meio e a propagação da onda ocorrem na mesma direção. Essas ondas podem ser produzidas, por exemplo, quando uma pessoa sacode horizontalmente a extremidade de uma mola de massa desprezível presa em um ponto de uma parede vertical. Essa situação é representada na figura a seguir.



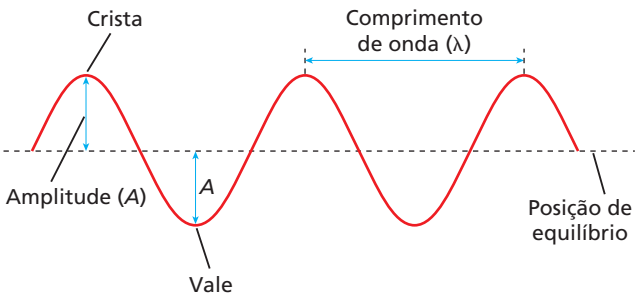
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de uma onda longitudinal que se propaga em uma mola. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Características das ondas

Para definirmos as características das ondas, vamos considerar uma onda transversal que se propaga em uma corda horizontal. Os pontos mais altos da onda são conhecidos como **cristas** e os pontos mais baixos, **vales**.

Por causa da oscilação transversal, temos a **posição de equilíbrio**, isto é, a posição central de repouso da corda. A distância vertical entre a reta que define a posição de equilíbrio e uma crista ou um vale é chamada de **amplitude (*A*)** da onda.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da crista, do vale, da amplitude (*A*), do comprimento de onda (λ) e da posição de equilíbrio de uma onda.

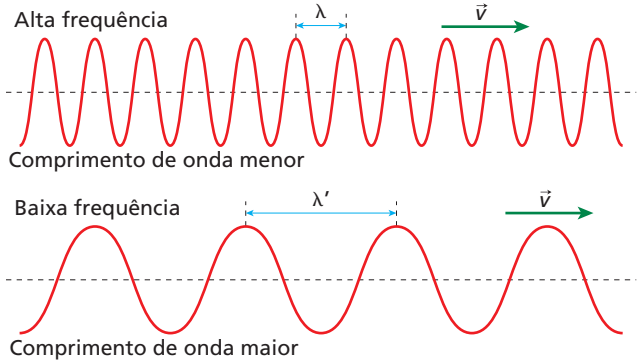
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O **comprimento de onda (λ)** é a distância entre dois pontos oscilantes intercalados por um ciclo completo, isto é, a distância entre dois pontos consecutivos que se apresentam à mesma distância em relação à posição de equilíbrio e com o mesmo sentido de vibração. Por exemplo, a distância entre duas cristas ou entre dois vales consecutivos define o comprimento de onda.

O **período (*T*)** da onda é o intervalo de tempo necessário para ocorrer uma oscilação completa. Considerando que a onda (energia) percorre uma distância λ em um intervalo de tempo igual ao período *T*, a intensidade da velocidade de propagação dessa onda fica determinada por:

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ ou } v = \lambda \cdot f$$

A equação obtida é conhecida como **equação fundamental da ondulatória**, que relaciona a intensidade da velocidade com que a onda se propaga com o comprimento de onda e o período (ou a frequência). Essa equação mostra que, se o meio de propagação for mantido, o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de ondas de frequências diferentes se propagando em um mesmo meio. Note que, quanto maior a frequência, menor será o comprimento de onda, e vice-versa.

Exemplo

Considere um sonar (acrônimo para *Sound Navigation and Ranging*), um aparelho utilizado na maior parte das embarcações modernas que emite ondas sonoras na água – em geral, ultrassons – para verificar a presença de objetos submersos, cardumes de peixes, mapear o relevo subaquático etc. As ondas emitidas pelo sonar têm uma frequência que varia entre $3{,}0 \cdot 10^5$ Hz e $6{,}0 \cdot 10^5$ Hz. Calcule o comprimento de onda mínimo e o comprimento de onda máximo da onda sonora emitida pelo sonar, considerando que, na água, o som se propaga a uma velocidade de intensidade igual a 1.500 m/s.

O maior comprimento de onda é dado pela menor frequência, isto é, $3{,}0 \cdot 10^5$ Hz. Aplicando-se a equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s} = \lambda \cdot 3{,}0 \cdot 10^5 \text{ Hz} \therefore \lambda = 5{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

O menor comprimento de onda é dado pela maior frequência:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s} = \lambda \cdot 6{,}0 \cdot 10^5 \text{ Hz} \therefore \lambda = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

É importante notar que ultrassons são frequências inaudíveis pelo ser humano, cujo limite auditivo ocorre em cerca de 20.000 Hz = 20 kHz. Alguns animais, como o golfinho, a baleia e o morcego, entre outros, conseguem detectar alguns ultrassons.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor. Registre em seu caderno

EM FOCO Sismos

Atividades geológicas que ocorrem continuamente no interior do planeta Terra, como a movimentação de placas tectônicas, provocam abalos mecânicos que atingem regiões da litosfera (crosta terrestre), determinando os **sismos** – vibrações que alcançam locais mais distantes, fruto da propagação da energia desprendida nesses eventos.

Os sismos podem se propagar até a superfície do planeta, atingindo regiões habitadas e causando danos consideráveis, dependendo de sua magnitude. São os **terremotos**.

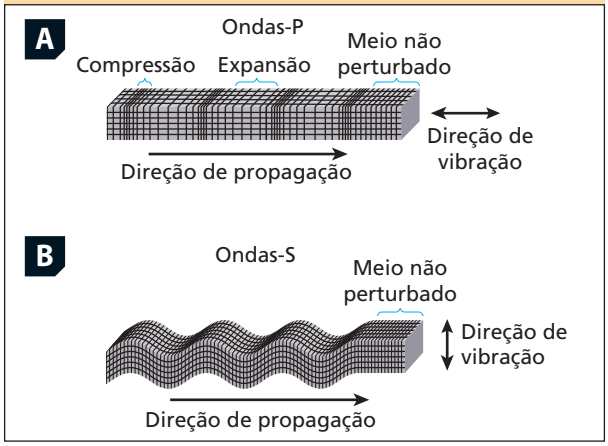
Sismos são constituídos geralmente por dois tipos de onda: **ondas-P** ou primárias (figura A), longitudinais e mais velozes, com velocidades de intensidades de

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

aproximadamente 4.000 m/s, dependendo do meio de propagação do tremor, e **ondas-S** ou secundárias (figura B), transversais e mais lentas, com velocidades de intensidades de aproximadamente 500 m/s.

Propagação de ondas-P e ondas-S

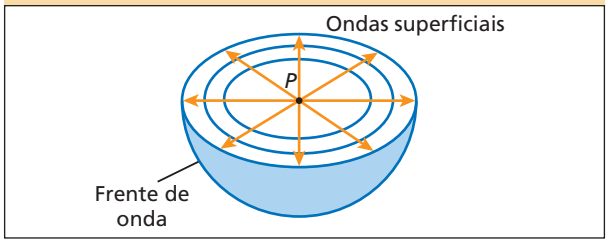


Fonte: elaborado com base em LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
(A) Representação esquemática da propagação das ondas-P e **(B)** das ondas-S. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

O local onde o sismo é gerado denomina-se **epicentro** e, à medida que o abalo se propaga, sua amplitude decresce aproximadamente na razão inversa da distância. Isso significa que, geralmente, quanto mais distante do epicentro estiver a região atingida, menores serão os efeitos provocados pela perturbação.

Os sismos produzem também ondas que se propagam na superfície terrestre, semelhantes àquelas verificadas quando jogamos uma pedrinha na água tranquila de um lago. São as **ondas-R** ou de Rayleigh.

Propagação de ondas-R

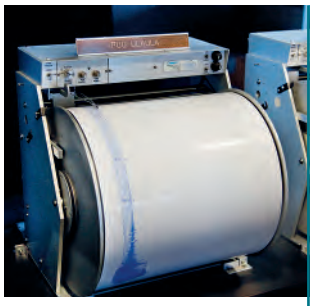


Fonte: elaborado com base em LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

Propagação de um distúrbio sísmico a partir de uma fonte representada pelo ponto *P* próximo à superfície de um meio homogêneo. A onda propaga-se como uma onda esférica no meio e como uma onda superficial ao longo da superfície livre. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Utiliza-se na mensuração da intensidade de um abalo sísmico a **escala logarítmica Richter**. Terremotos cuja magnitude ultrapassa 7,0 pontos nessa escala são classificados como fortes ou extremos.

Abalos sísmicos são registrados por aparelhos denominados **sismógrafos**, como o desta figura.



Sismógrafo em funcionamento no Museu Jaggar, registrando terremotos nas proximidades da cratera vulcânica Kilauea (Hawaii, Estados Unidos, 2008).

CRAIG ELLENWOOD/ALAMY/FOTOARENA

1. Sismos são perturbações que se propagam através da crosta terrestre.
   a. Geologicamente, o que provoca essas perturbações? 1. a. Movimentação de placas tectônicas nas regiões de falhas geológicas.
   b. Abalos sísmicos são ondas mecânicas ou eletromagnéticas? 1. b. Ondas mecânicas.
2. As ondas-P e as ondas-S, responsáveis pelos abalos sísmicos, se propagam pelo solo terrestre com velocidades de intensidades diferentes. Sabendo que esses abalos são produzidos simultaneamente, qual deles, provocado por ondas-P ou ondas-S, é detectado primeiro em uma estação sismológica distante? 2. O provocado por ondas-P.
3. Pesquise a respeito de dois abalos sísmicos – terremotos – que ocorreram recentemente, suas respectivas magnitudes na escala Richter e as medidas tomadas para alertar a população local e reduzir os riscos de desastres.
4. ODS 11 Além dos terremotos, outros fenômenos naturais podem causar grande impacto em nosso dia a dia, como enchentes, deslizamentos de terra e estiagem.

   Entre 2013 e 2022, desastres naturais como tempestades, inundações, enxurradas e alagamentos atingiram 5.199 municípios brasileiros, o que representa 93% do total de 5.570. [...] Esses desastres afetaram a vida de mais de 4,2 milhões de pessoas [...].

   Fonte: Desastres naturais atingiram 93% dos municípios nos últimos 10 anos. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 27 jul. 2023. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-07/desastres-naturais-atingiram-93-dos-municipios-nos-ultimos-10-anos. Acesso em: 24 set. 2024.

   a. O município ou a região em que você mora sofrem com desastres naturais recorrentes? Como isso afeta sua comunidade?
   b. Reúna-se com dois colegas e pesquisem sobre o papel da Defesa Civil do estado em que moram. Descubram quais medidas são tomadas por esse órgão para alertar a população dos riscos de desastres e quais medidas de segurança devem ser adotadas pela população em situações como essas.

3. Espera-se que os estudantes compreendam o significado da escala Richter e relacionem as magnitudes dessa escala com a intensidade dos terremotos e os possíveis danos causados por eles.

4. Espera-se que os estudantes analisem o impacto de desastres naturais que podem afetar diretamente a população e que reconheçam as medidas de segurança que devem ser adotadas por órgãos oficiais e pela população nessas situações para reduzir o número de pessoas afetadas, os danos em infraestruturas críticas e evitar a interrupção de serviços básicos.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Interferência de ondas

Interferência é o fenômeno que se verifica quando ondas de mesma natureza – mecânicas ou eletromagnéticas –, propagando-se em determinado meio, se superpõem.

BERENICE ABBOTT/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

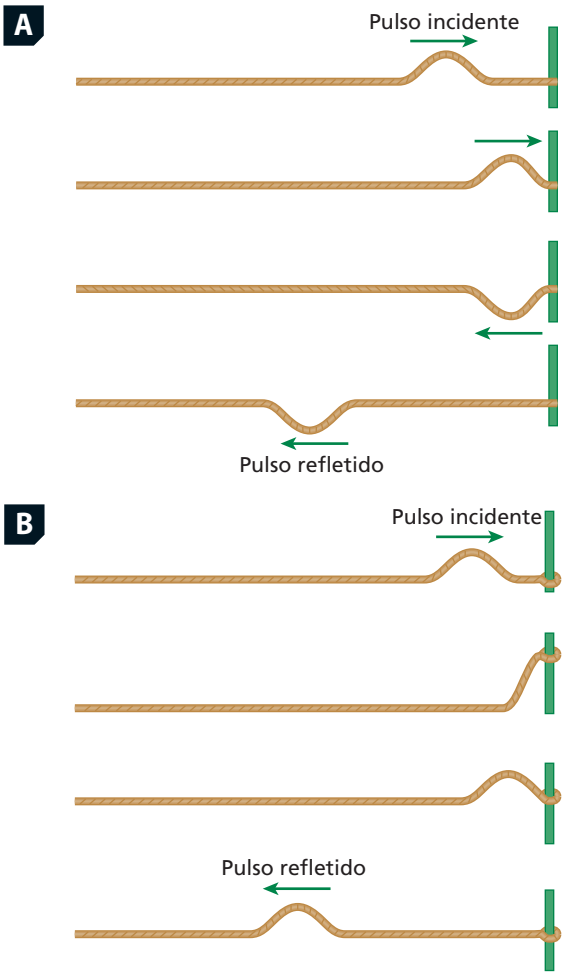
Superposição de ondas circulares que se propagam na superfície da água, produzindo um padrão de interferência. (Cores-fantasia.)

Ao sintonizar uma emissora FM no rádio do carro, por exemplo, é comum notarmos que, em certos locais, a estação principal deixa de ser ouvida, mesmo com seu sinal em captação, para a entrada de outra frequência, que se torna preponderante naquela sintonia. Dizemos que está havendo interferência entre os sinais das duas emissoras.

Para entender os fundamentos do fenômeno, imagine a situação em que certa pessoa segura uma corda por uma extremidade e a outra extremidade está ligada à parede. Com a corda bem esticada, a pessoa a balança de modo a produzir um pulso, lembrando que um pulso é uma perturbação única que se propaga por um meio. O que acontecerá com o pulso ao atingir a parede? Há duas situações possíveis que dependem de como a corda está ligada a essa parede: quando a extremidade está fixa e quando a extremidade pode também oscilar, ou seja, está livre.

Na figura A a seguir, a extremidade está fixa na parede. Nesse caso, ao incidir na estrutura, a corda aplica nela uma força impulsiva e, pelo princípio da ação e reação, a corda recebe uma força de mesma intensidade e direção, mas com sentido oposto, o que produz uma reflexão invertida ou uma reflexão com inversão de fase. Assim, se inicialmente o pulso é formado por uma crista, ao incidir na parede, ele será refletido como um vale.

Se a extremidade estiver livre para se movimentar, por estar presa a uma argola leve que trespassa sem atrito uma haste cilíndrica, o pulso é refletido sem que haja inversão de fase, como mostra a figura B. Portanto, se inicialmente o pulso é formado por uma crista, ao incidir na argola, ele inverterá o sentido do movimento, mas ainda será formado por uma crista.

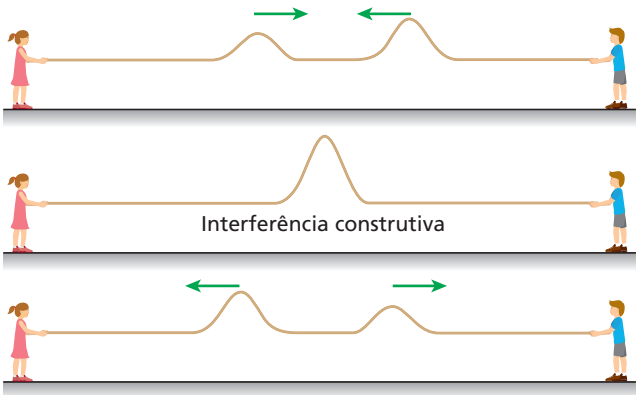


ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Reflexão de um pulso com inversão de fase e **(B)** sem inversão de fase.

Interferência construtiva

Imagine agora a seguinte situação: você e um amigo seguram as extremidades de uma corda. Ambos balançam essa corda de maneira a produzir em cada extremidade um pulso vertical. Serão duas cristas, mas com amplitudes diferentes e que se moverão em sentidos opostos, conforme ilustra a figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de interferência construtiva entre dois pulsos. (Imagem sem escala.)

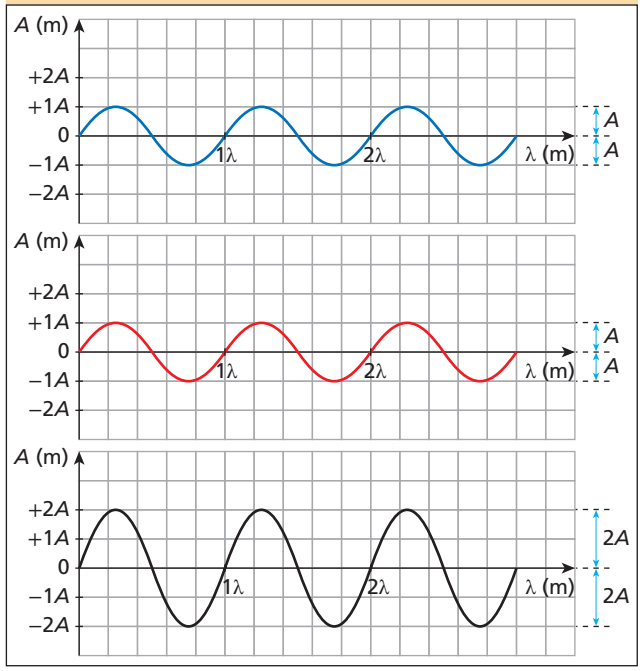
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se admitirmos que a largura desses pulsos é igual, o que ocorrerá com eles quando se encontrarem? Nesse caso, no instante em que os pulsos se superpuserem, suas amplitudes se somarão. Após a interferência, no entanto, os pulsos continuarão a se propagar com a mesma amplitude inicial, como se nada tivesse acontecido. Esse fenômeno é conhecido como princípio da independência da propagação ondulatória.

Esse tipo de interferência é denominado **interferência construtiva**, pois a amplitude resultante é dada pela soma das amplitudes parciais.

Admitindo-se que duas ondas tenham a mesma amplitude (*A*), a superposição de duas cristas, ou de dois vales, determina uma onda resultante com amplitude dobrada, devido à interferência construtiva ou reforço.

Gráficos de $A \times \lambda$

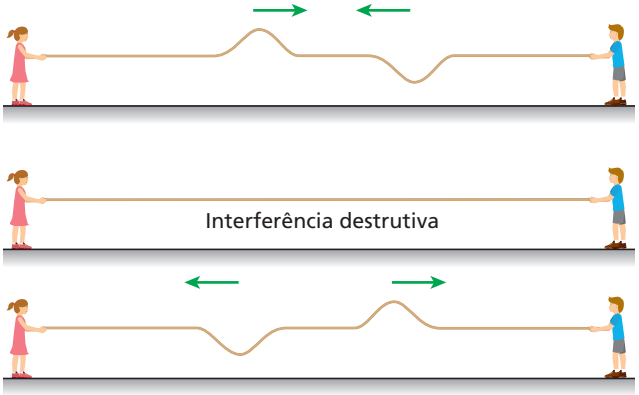


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de interferência construtiva (reforço), resultante da superposição das cristas das duas ondas e dos vales dessas ondas.

Interferência destrutiva

Imagine agora que um dos pulsos seja formado por um vale. No instante em que os pulsos se superpõem, a amplitude resultante é dada pela diferença entre as amplitudes parciais. Esse tipo de interferência é denominado **interferência destrutiva**.

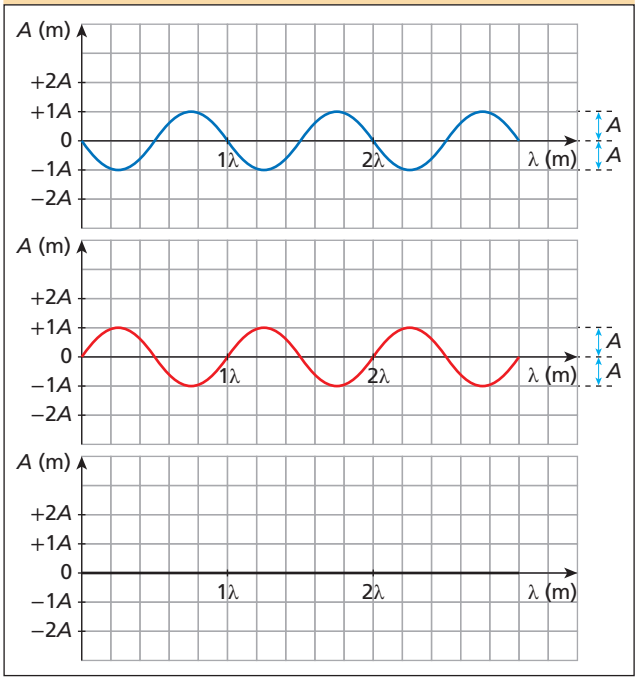


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de interferência destrutiva entre dois pulsos. (Imagem sem escala.)

Admitindo-se que duas ondas tenham a mesma amplitude (*A*), mas fases deslocadas de 180°, a superposição de uma crista e um vale determina uma onda resultante com amplitude nula, devido à interferência destrutiva ou anulamento.

Gráficos de $A \times \lambda$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de interferência destrutiva (anulamento), resultante da superposição de cristas com vales.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

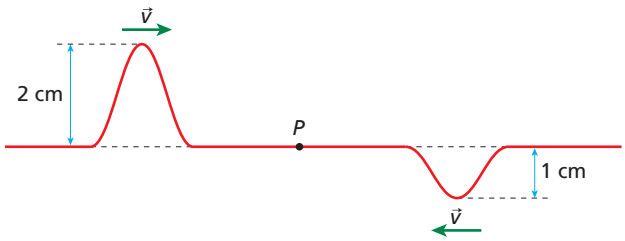
Interferência de ondas sonoras

PERKINS, K. *et al*. Ondas sonoras. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 24 set. 2024.

Com esse simulador, você pode estudar a interferência de ondas sonoras produzidas por duas fontes distintas. É possível verificar que o som é mais intenso quando o ouvinte se posiciona sobre linhas ventrais, lugar geométrico onde ocorre interferência construtiva, e que o som é menos intenso quando o ouvinte se posiciona sobre linhas nodais, lugar geométrico onde ocorre interferência destrutiva.

Exemplo

Dois pulsos verticais de mesma largura se propagam em sentidos opostos por uma corda, conforme representado a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

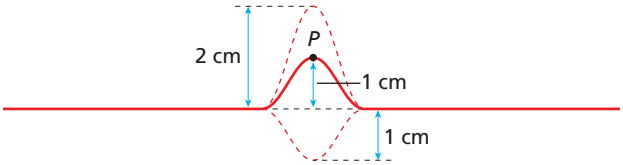
Representação esquemática de dois pulsos verticais de mesma largura se propagando em uma corda em sentidos opostos.

Qual será a aparência da corda quando os pulsos se superpuserem no ponto *P* e qual será a amplitude resultante?

No ponto *P*, haverá a superposição dos dois pulsos. Como um dos pulsos é formado por uma crista e outro por um vale, teremos uma interferência destrutiva. Logo, a amplitude resultante será dada pela diferença das amplitudes.

$$A = 2\text{ cm} - 1\text{ cm} \therefore A = 1\text{ cm}$$

A corda terá a aparência mostrada na figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da corda quando os dois pulsos se superpõem no ponto *P*.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

3. Considerando a propagação e as características das ondas, analise as afirmações a seguir e indique as corretas.

I. A luz solar é uma onda eletromagnética. 3. I, II e III.

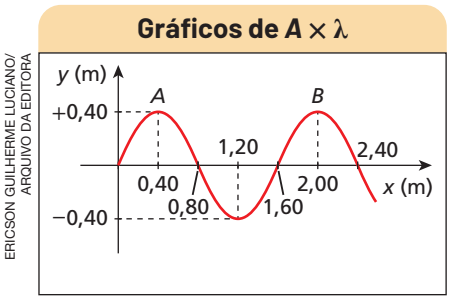
II. Amplitude é a elongação máxima da onda, em relação à posição de equilíbrio.

III. A amplitude da onda está diretamente relacionada à capacidade de transportar energia, ou seja, quanto maior a amplitude da onda, maior sua capacidade de transportar energia.

IV. A intensidade da velocidade de propagação de uma onda é dada pelo produto do período pelo comprimento de onda.

V. Uma onda é uma perturbação que se propaga por um meio, transportando matéria sem transportar energia.

4. Ao analisar graficamente uma onda como a da figura a seguir, Luiza destacou as seguintes informações.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

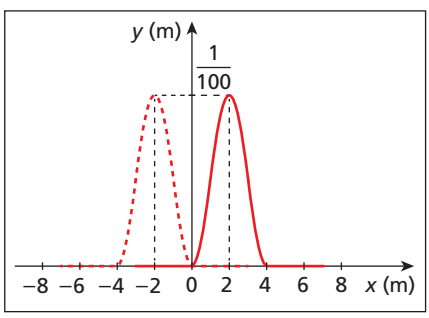
Representação gráfica da variação da amplitude (*A*) em função do comprimento de onda (λ).

Sabe-se que a onda se propaga com velocidade de intensidade 0,32 m/s. Considerando os dados apresentados, determine:

a. a amplitude dessa onda e seu comprimento de onda; 4. a. $A = 0{,}40$ m; $\lambda = 1{,}60$ m

b. a frequência e o período dessa onda. 4. b. $f = 0{,}20$ Hz; $T = 5{,}0$ s

5. (Uece-CE) A figura a seguir mostra um instantâneo de dois pulsos que se propagam sem deformação em uma corda. Os pulsos foram gerados nas extremidades opostas da corda, de modo que o representado pela curva tracejada se propague no sentido positivo de *x* e o outro pulso no sentido negativo. Assuma que a corda é um meio homogêneo e linear para essa propagação, e que os pulsos se propagam com velocidade 2 m/s, em módulo.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Assim, o pico máximo na direção *y* da corda 1 s após esse instantâneo é

a. $\frac{1}{200}$.

b. $\frac{1}{50}$. 5. Alternativa **b**.

c. $\frac{2}{50}$.

d. $\frac{1}{100}$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ondas bidimensionais e frentes de onda

Estudamos até aqui ondas unidimensionais, isto é, ondas que se propagam em uma única dimensão. Entretanto, são comuns ondas que se propagam em duas dimensões, como em uma superfície plana, bidimensional. Neste último caso, temos **ondas bidimensionais**.

Um exemplo são as ondas que se formam quando gotas de chuva caem na água tranquila de um lago ou quando jogamos uma pedrinha dentro da água. Nesses casos, ao entrarem em contato com a superfície da água, as gotas ou a pedrinha criam perturbações que se propagam paralelamente à superfície líquida, ou seja, ondas bidimensionais.

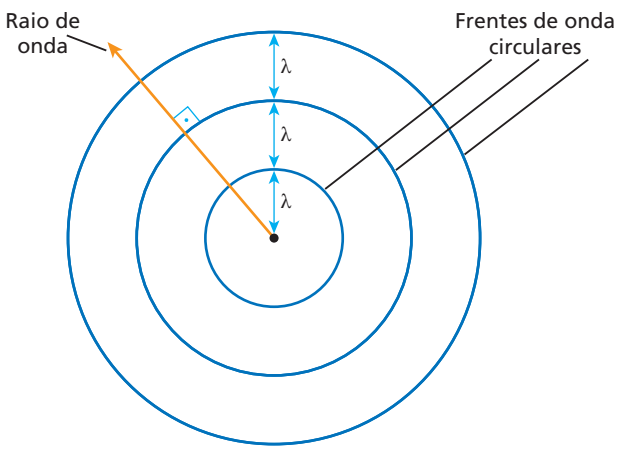
TRUTTA/SHUTTERSTOCK

Cada gota que cai na superfície da água gera ondas bidimensionais que se deslocam como circunferências concêntricas.

Considerando-se profundidades constantes, essas perturbações se deslocam **isotropicamente**, com a mesma intensidade de velocidade em todas as direções, formando circunferências concêntricas a partir do ponto de impacto. Essas perturbações produzem **frentes de onda circulares**, ou seja, conjuntos de pontos atingidos pela perturbação que estão à mesma distância do local do impacto contra a água, correspondente ao raio da circunferência.

Isotropicamente: com propriedades físicas constantes, independentemente da direção.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

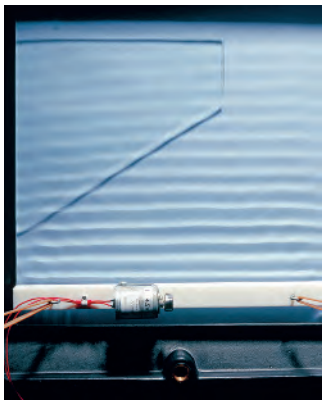


Representação esquemática das frentes de onda formadas pela perturbação da superfície de um lago devido à queda de uma gota d'água. (Cores-fantasia.)

Note que, na figura anterior, o **raio de onda** é uma linha reta que indica a direção e o sentido da propagação da onda em certo ponto da frente de onda. O raio de onda é perpendicular à frente de onda no ponto considerado.

Ondas bidimensionais e as respectivas frentes de onda podem ser geradas, por exemplo, batendo-se de modo periódico com uma régua na superfície da água de um tanque, como em uma cuba de ondas.

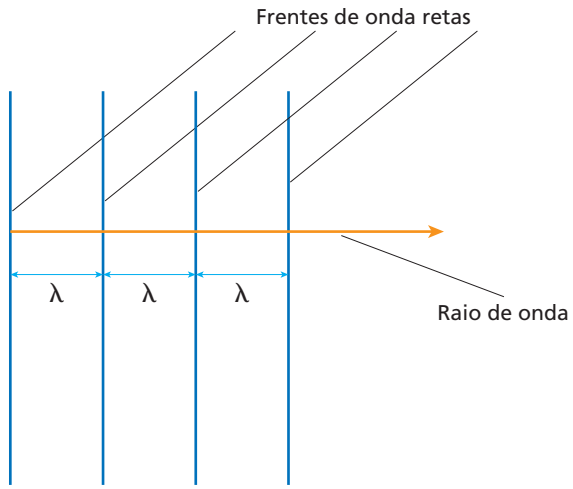
ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA



Ondas retas bidimensionais na superfície da água de uma cuba de ondas, produzidas pelo impacto sucessivo e periódico de uma haste horizontal (em branco na imagem).

Nesse caso, temos ondas bidimensionais com frentes de onda dadas por segmentos de reta.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática das frentes de onda como segmentos de reta. (Cores-fantasia.)

Por meio de cubas de ondas como essa podem-se analisar vários fenômenos ondulatórios, como interferência, difração, refração e reflexão.

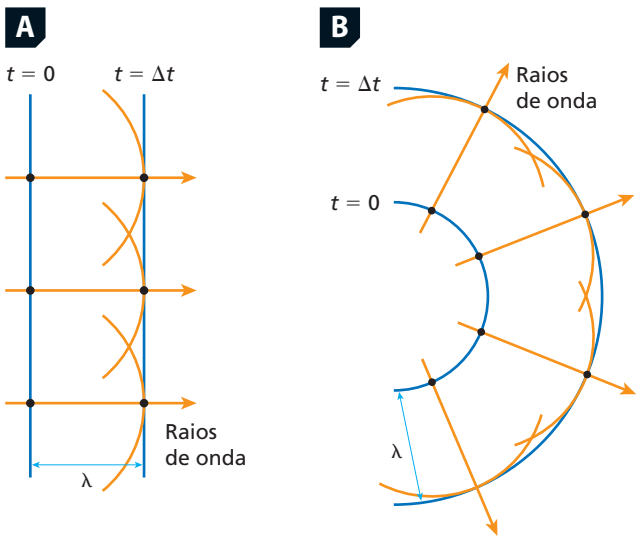
Princípio de Huygens

As características da propagação das frentes de onda foram estudadas pelo cientista Christiaan Huygens no século XVII. Nesse estudo, foi formulado o seguinte princípio, conhecido posteriormente como **princípio de Huygens**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Cada um dos pontos de uma frente de onda atua como se fosse uma fonte elementar, ou seja, é capaz de transferir energia aos pontos do meio ao redor produzindo novas ondas que se propagam com a mesma frequência e velocidade das ondas originais.

A figura A mostra pontos de frentes de ondas retas atuando como fontes elementares. A figura B mostra pontos de frentes de ondas circulares. Se a onda for periódica, a distância entre duas frentes de onda sucessivas é igual ao comprimento de onda (λ).



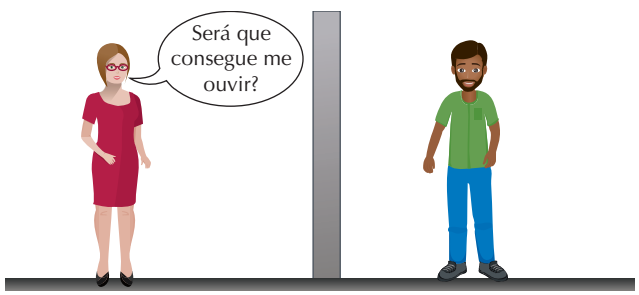
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação esquemática de frentes de ondas retas e **(B)** frentes de ondas circulares. Cada ponto das frentes de onda atua como uma fonte elementar. (Cores-fantasia.)

A aplicação do princípio de Huygens permite explicar os fenômenos ondulatórios de difração e refração, como estudaremos a seguir.

Difração

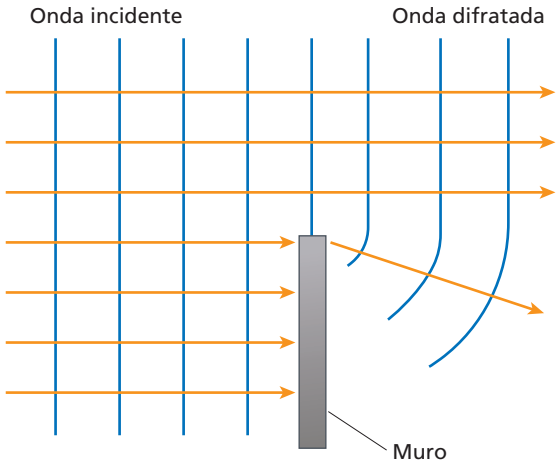
Por que é possível ouvir uma pessoa mesmo que ela esteja atrás de um muro?



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Duas pessoas podem se ouvir mesmo com um muro entre elas por causa da difração das ondas sonoras.

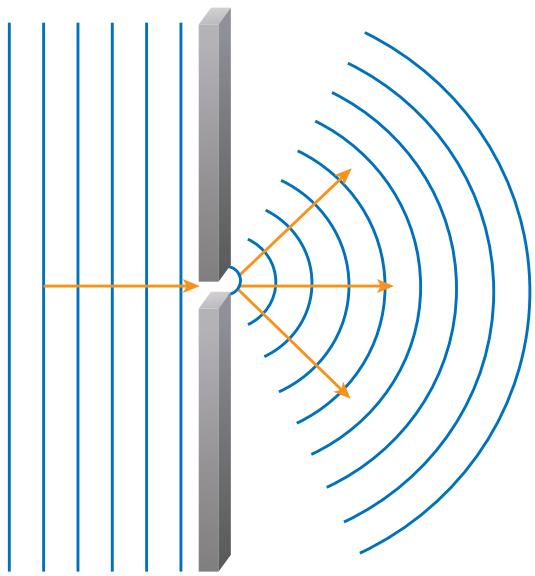
Isso é possível por causa do fenômeno ondulatório conhecido como **difração**, propriedade das ondas de transpor obstáculos e continuar a se propagar em uma direção diferente.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da ocorrência da difração. (Cores-fantasia.)

Esse fenômeno pode ser explicado pelo princípio de Huygens como mostra a figura a seguir. Quando uma fenda ou obstáculo é atingido pelas frentes de onda, cada ponto dessas frentes se comporta como uma fonte elementar de ondas que muda a direção de propagação da onda original, ao atravessar a fenda ou transpor o obstáculo. As frentes de onda continuam a se propagar com velocidade de mesma intensidade e com o mesmo comprimento de onda, mas em uma nova direção.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do fenômeno da difração em uma fenda. (Cores-fantasia.)

No entanto, uma condição essencial para que a difração ocorra é que fendas ou obstáculos tenham dimensões da ordem de grandeza do comprimento de onda.

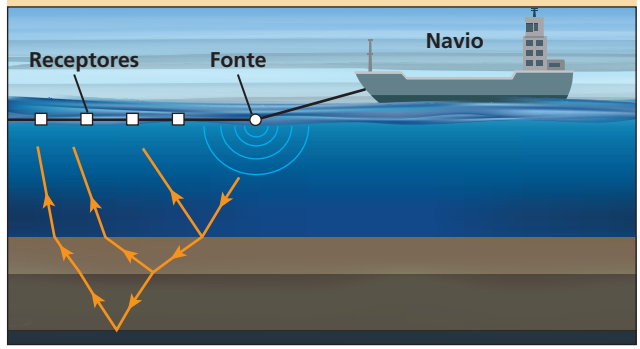
Por isso, o som se difrata com facilidade em alguns obstáculos e algumas estruturas encontrados em casa, na escola ou na rua, o que não ocorre com a luz, que requer fendas muito estreitas para se difratar, com larguras da ordem de nanômetros (1 nm = 10^{-9} m).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Refração

Para obter o petróleo, uma das matérias-primas do plástico e de combustíveis como a gasolina e o óleo *diesel*, é necessário perfurar o solo, mas antes é preciso saber exatamente sua localização, que pode ser as profundezas dos mares. Nesse caso, uma das técnicas utilizadas é gerar ondas que se propagam pela água do mar e pela terra (piso marítimo), como mostrado na figura a seguir, analisando-se posteriormente o intervalo de tempo necessário para o percurso de ida e volta dessas ondas, bem como as características das ondas que retornam.

Sondagem de estruturas submarinas em busca de petróleo



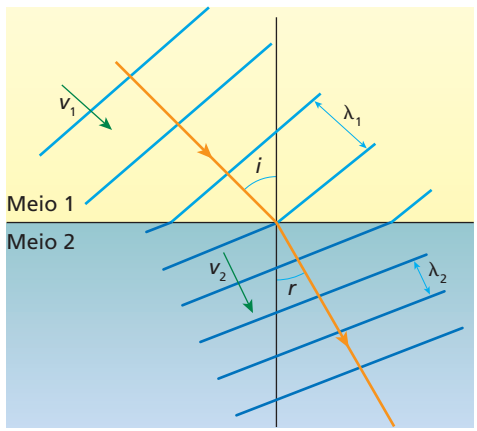
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, [*s. l.*], v. 18, n. 3, 2000.

Representação esquemática da transmissão, reflexão, refração e recaptura das ondas emitidas pelo equipamento de um navio utilizado na sondagem de estruturas submarinas em busca de petróleo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando a onda produzida passa da água para a terra ou da terra para uma camada subjacente com densidade diferente, que pode indicar a existência de uma reserva de petróleo, por exemplo, a intensidade da velocidade de propagação se modifica. E, como estudaremos a seguir, quase sempre a direção de propagação também se modifica. O fenômeno ondulatório que ocorre quando ondas mudam de meio de propagação, alterando a intensidade de sua velocidade de propagação e o comprimento de onda, é chamado de **refração**.

Vamos considerar uma onda que se propaga do meio 1 para o meio 2; no meio 1, a onda é chamada de incidente, e no meio 2, é chamada de refratada.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do fenômeno da refração em dois meios materiais diferentes. (Cores-fantasia.)

Neste caso, assim como no de uma onda progressiva se propagando em uma corda, aplica-se também ao contexto em estudo a equação fundamental da ondulatória e considera-se que, na refração, a frequência *f* não varia. Assim, obtemos:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Essa expressão permite dizer que, na refração, as intensidades das velocidades de propagação e os respectivos comprimentos de onda variam em proporção direta. Isso significa que, se a intensidade da velocidade de propagação de uma onda aumentar, seu comprimento de onda também aumentará na mesma proporção.

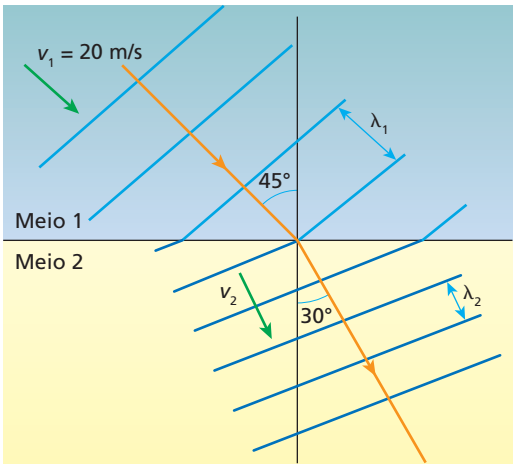
Sendo o ângulo de incidência igual a *i* e o ângulo de refração igual a *r*, ambos medidos em relação à reta normal (perpendicular) à interface que separa os meios, seus respectivos senos podem se relacionar com as intensidades das velocidades de propagação e com os comprimentos de onda, pela **lei de Snell-Descartes**.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Uma onda se propaga por dois meios diferentes e, ao passar de um meio para o outro, as frentes de onda apresentam a configuração mostrada na figura a seguir, que caracteriza o fenômeno da refração.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de ondas se propagando por dois meios materiais 1 e 2 diferentes. O meio 1 pode ser uma região profunda do mar, e o meio 2, uma região rasa, onde existe um banco de areia, por exemplo. (Cores-fantasia.)

a. Considerando que a intensidade da velocidade de propagação no meio 1 é 20 m/s, qual é a intensidade da velocidade de propagação no meio 2?

A intensidade da velocidade de propagação no meio 2, a região mais rasa, pode ser calculada aplicando a lei de Snell-Descartes.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\text{sen } 45°}{\text{sen } 30°} = \frac{20 \text{ m/s}}{v_2} \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{2}{1} = \frac{20 \text{ m/s}}{v_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{2} \cdot v_2 = 20 \text{ m/s} \Rightarrow v_2 = \frac{20 \text{ m/s}}{\sqrt{2}} \therefore v_2 = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$$

b. Qual é a razão entre os comprimentos de onda nos meios 1 e 2?

A razão entre os comprimentos de onda pode ser calculada como:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{20 \text{ m/s}}{10\sqrt{2} \text{ m/s}} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{2}{\sqrt{2}} \therefore \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{2}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

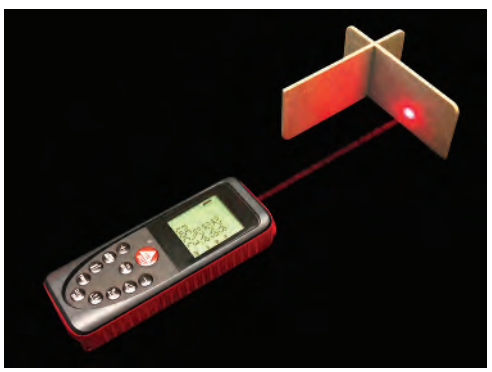
Reflexão

Ondas luminosas, quando produzidas por um dispositivo chamado *laser,* se propagam de forma colimada, isto é, aproximadamente paralelas, o que caracteriza um pincel cilíndrico de luz. Sua velocidade de propagação no vácuo é aproximadamente 300.000 km/s, que corresponde à velocidade de propagação da luz no vácuo.

O *laser* pode ser empregado em instrumentos para medir distâncias, por exemplo, chamados trena a *laser*.

No funcionamento desse instrumento, o intervalo de tempo para as ondas luminosas saírem do instrumento, refletirem em uma parede, por exemplo, e voltarem é muito pequeno. Isso é suficiente, porém, para que o aparelho utilize a reflexão das ondas luminosas na parede para obter a distância entre ele e a parede de modo bastante rápido.

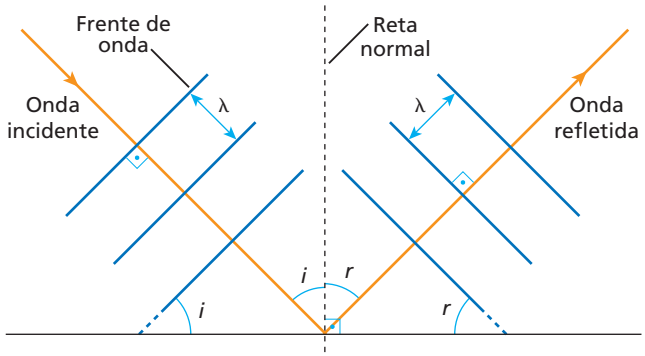
O fenômeno de **reflexão** das ondas ocorre quando elas incidem sobre um obstáculo e retornam ao meio de propagação mantendo algumas características invariáveis, como a intensidade da velocidade de propagação, a frequência e o comprimento de onda. No entanto, podem ocorrer alterações na direção de propagação e na fase da onda (uma crista incidente pode produzir um vale refletido).



MARK COLLINSON/ALAMY/FOTOARENA

Trena a *laser*.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do fenômeno da reflexão. (Cores-fantasia.)

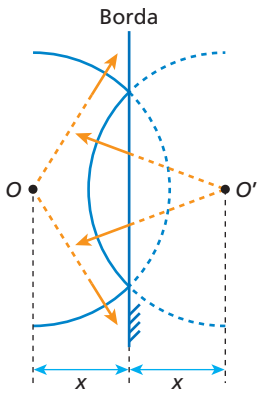
Para descrever a mudança na direção de propagação, considera-se uma reta normal traçada no ponto onde o raio incide e de onde o raio refletido parte, como mostra a figura.

Nessa situação, nota-se que o ângulo *i* formado pelo raio incidente e a reta normal, é igual ao ângulo *r* formado pelo raio refletido e a reta normal.

$$i = r$$

Reflexão de ondas circulares

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática da reflexão de uma onda circular em uma borda reta. (Cores-fantasia.)

Você já observou ondas circulares se propagando na superfície da água de um lago ou de uma piscina e incidindo em uma das bordas da estrutura? Depois da incidência, essas ondas retornam à superfície da própria água, caracterizando o fenômeno da reflexão.

Nesse caso, quando as ondas se refletem na borda rígida, ocorre inversão de fase, isto é, ventres incidentes resultam em vales refletidos. A frequência e a intensidade da velocidade das ondas que retornam coincidem com os respectivos valores das ondas incidentes.

Na situação da reflexão de uma onda circular em uma borda reta, a construção geométrica da frente de onda refletida, que também é circular, obedece a um critério simples. Tudo se passa como se a borda reta fosse uma espécie de espelho plano que produz para o ponto objeto *O*, coincidente com o local de onde teria partido a onda incidente, um ponto imagem *O′*, local de onde teria partido a onda refletida, simétrico de *O* em relação à borda.

Isso está de acordo com as leis da reflexão, que são iguais às verificadas para ondas mecânicas, como as ondas que se propagam na superfície da água de um lago, e para ondas eletromagnéticas, como a luz.

Polarização de ondas

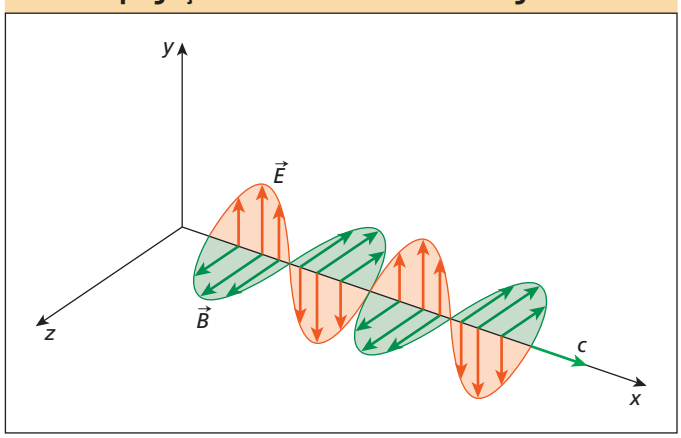
A **polarização** é um fenômeno que consiste na oscilação de uma onda transversal em um ou mais planos preferenciais.

A luz é um exemplo de onda transversal, podendo ser polarizada, o que não ocorre com o som, que é uma onda longitudinal de pressão. Os campos magnéticos e elétricos próprios das ondas eletromagnéticas oscilam em planos perpendiculares à direção de propagação, por isso essas ondas são polarizáveis.

A luz branca solar é não polarizada, ou seja, ela se propaga com campos orientados em várias direções, mas pode ser polarizada por meio de filtros especiais.

Propagação de uma onda eletromagnética

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



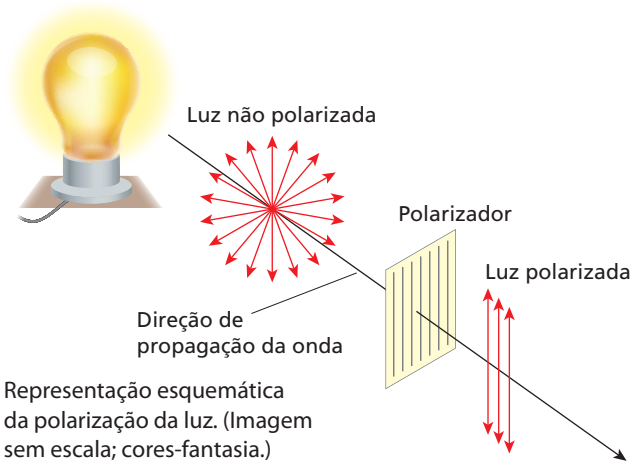
Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. 9. ed. Boston: Brooks/Cole Cengage Learning, 2014.

Representação esquemática de uma onda eletromagnética se propagando com velocidade de intensidade *c*. Os campos elétrico ($\vec{E}$) e magnético ($\vec{B}$) oscilam em planos perpendiculares, que são também perpendiculares à direção de propagação da onda. (Cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para polarizar ondas eletromagnéticas como a luz solar ou a luz emitida por uma lâmpada incandescente, pode ser utilizado um dispositivo denominado polarizador, que faz com que a luz seja transmitida apenas no plano de oscilação selecionado.

Quando a luz inicialmente não polarizada, como a luz de uma lâmpada, passa por um polarizador, verifica-se a oscilação em um único plano ou direção, ou seja, a luz é polarizada.



Representação esquemática da polarização da luz. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Filtros polarizadores são utilizados por fotógrafos com o intuito de atenuar reflexos indesejáveis, geralmente em ambientes externos. Seu uso ajuda no destaque das cores do céu e proporcionam um maior controle da luz que atinge o sensor da câmera.

Filtros polarizadores atenuam reflexos e reduzem o brilho do cenário observado.

DREAMSTIME/EASY MEDIABANK

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

6. Que fenômeno ondulatório melhor explica o fato de as ondas eletromagnéticas utilizadas na telefonia celular transporem obstáculos de dimensões da ordem de grandeza do seu comprimento de onda e chegarem até as residências? 6. Difração.

7. Com base no fenômeno da refração, explique o fato de as ondas do mar quebrarem ao atingirem a orla litorânea. 7. Isso ocorre em virtude da súbita redução de profundidade na aproximação da orla litorânea, que pode ser entendida como uma mudança no meio de propagação.

8. Na reflexão de ondas luminosas: 8. Alternativa **c**.

a. a intensidade da velocidade de propagação da onda refletida é maior que a intensidade da velocidade de propagação da onda incidente.

b. a frequência da onda refletida é menor que a frequência da onda incidente.

c. o período da onda refletida é igual ao período da onda incidente.

d. o comprimento de onda da onda refletida é maior que o comprimento de onda da onda incidente.

e. o ângulo de reflexão é menor que o ângulo de incidência.

9. (Enem) Nas rodovias, é comum motoristas terem a visão ofuscada ao receberem a luz refletida na água empoçada no asfalto. Sabe-se que essa luz adquire polarização horizontal. Para solucionar esse problema, há a possibilidade de o motorista utilizar óculos de lentes constituídas por filtros polarizadores. As linhas nas lentes dos óculos representam o eixo de polarização dessas lentes.

Quais são as lentes que solucionam o problema descrito? 9. Alternativa **a**.

a.

b.

c.

d.

e.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

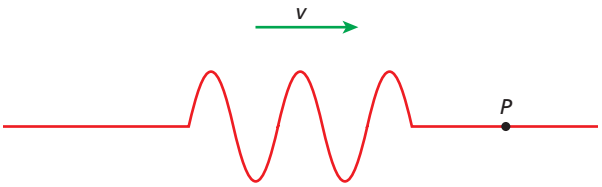
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Uece-CE) Uma maneira de medir a massa em ambientes de microgravidade, isto é, na ausência de efeitos gravitacionais, é fazer uso de uma balança inercial. Uma balança inercial é constituída de uma suspensão elástica e um assento sobre o qual repousa o objeto cuja massa se deseja determinar. O dispositivo assim descrito funcionará como um sistema massa-mola usual e terá sua frequência natural de oscilação modificada pela presença do objeto colocado sobre o assento. Em estações espaciais, esse equipamento é utilizado para medir a massa da tripulação. Na ausência do tripulante, a balança oscila com uma frequência natural de 2 Hz. Sabendo que o assento do dispositivo tem massa de 25 kg e que, na presença do tripulante, este passa a oscilar com uma frequência de 1 Hz, a massa em kg do tripulante é

a. 125. **b.** 75. **c.** 100. **d.** 50.

1. Alternativa **b**.

2. Um trem de pulsos senoidais com frequência $f = 10$ Hz propaga-se ao longo de uma corda elástica e não absorvedora de energia com velocidade de intensidade $v = 2{,}0$ m/s. Esses pulsos vão passar por um ponto P da corda, como indica o esquema a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um trem de pulsos se propagando da esquerda para a direita ao longo de uma corda ideal.

O comprimento de onda λ dos pulsos e o intervalo de tempo Δt que eles levam para passar completamente pelo ponto P estão corretamente indicados em qual das alternativas a seguir? 2. Alternativa **a**.

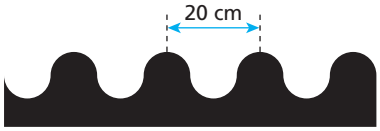
a. $\lambda = 20$ cm; $\Delta t = 250$ ms **c.** $\lambda = 25$ cm; $\Delta t = 250$ ms

b. $\lambda = 20$ cm; $\Delta t = 200$ ms **d.** $\lambda = 25$ cm; $\Delta t = 200$ ms

3. (UEA-AM) Sonorizadores, como o da imagem, são dispositivos utilizados para causar vibrações nos veículos que trafegam em rodovias, de forma a alertar os condutores de que há uma situação atípica à frente.

REPRODUÇÃO/UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Um sonorizador, que foi construído em formato ondulado, possui uma distância de 20 cm entre duas saliências consecutivas, conforme ilustrado.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Se as rodas dianteiras de um veículo passarem, simultaneamente, por esse sonorizador com velocidade de módulo 72 km/h, a frequência das vibrações experimentada pelo condutor será de 3. Alternativa **c**.

a. 10 Hz. **c.** 100 Hz. **e.** 400 Hz.

b. 40 Hz. **d.** 200 Hz.

4. Uma onda sonora de frequência $f = 3{,}0$ kHz e comprimento de onda $\lambda = 50$ cm foi gerada por uma implosão no fundo do oceano, a 3.000 m de profundidade. No ponto onde ocorreu a implosão, a pressão hidrostática é muito grande e equivale à pressão exercida por um elefante de 6.000 kg hipoteticamente apoiado em uma superfície de 4 cm × 5 cm. Com base nessas informações, é possível inferir que o som produzido com a implosão será detectado na superfície da água, na vertical do local do evento, depois de: 4. Alternativa **b**.

a. 1,0 s. **c.** 3,0 s. **e.** 5,0 s.

b. 2,0 s. **d.** 4,0 s.

5. (FEI-SP) A agricultura de precisão incorpora um GPS (Sistema de Posicionamento Global) em cada máquina agrícola. O dispositivo de GPS envia ondas eletromagnéticas com velocidade de $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s na faixa do micro-ondas para um satélite que está a uma altura de $2{,}0 \cdot 10^4$ km em relação ao solo. Qual é a frequência da onda e qual o intervalo de tempo de ida e volta do sinal emitido, sabendo-se que a onda eletromagnética possui comprimento de onda de 20 cm? 5. Alternativa **a**.

a. $1{,}5 \cdot 10^9$ Hz e 0,13 s

b. $1{,}5 \cdot 10^6$ Hz e 0,13 s

c. $1{,}5 \cdot 10^9$ Hz e 0,067 s

d. $1{,}5 \cdot 10^6$ Hz e 0,067 s

e. $1{,}5 \cdot 10^{12}$ Hz e 0,067 s

6. (Enem) É comum em viagens de avião sermos solicitados a desligar aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas, como celulares. A justificativa dada para esse procedimento é, entre outras coisas, a necessidade de eliminar fontes de sinais eletromagnéticos que possam interferir nas comunicações, via rádio, dos pilotos com a torre de controle.

Essa interferência poderá ocorrer somente se as ondas emitidas pelo celular e as recebidas pelo rádio do avião

6. Alternativa **c**.

a. forem ambas audíveis.

b. tiverem a mesma potência.

c. tiverem a mesma frequência.

d. tiverem a mesma intensidade.

e. propagarem-se com velocidades diferentes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. A vila de Nazaré, no centro-oeste de Portugal, caracteriza-se pelo sossego das casas de pescadores, além de tranquilas pousadas e pequenos hotéis. Mas também é conhecido pelas ondas extremas, que atingem a costa com alturas de até 30 metros, desafiando os surfistas radicais de todo o mundo. Isso porque, a certa distância da orla, há um cânion muito profundo no assoalho oceânico, o que faz com que as ondas que se dirigem ao litoral percam subitamente velocidade e ganhem amplitude.

ALEKSEY SNEZHINSKIU/SHUTTERSTOCK

Ondas de 20 m observadas em 21 de novembro de 2019 em Nazaré, Portugal.

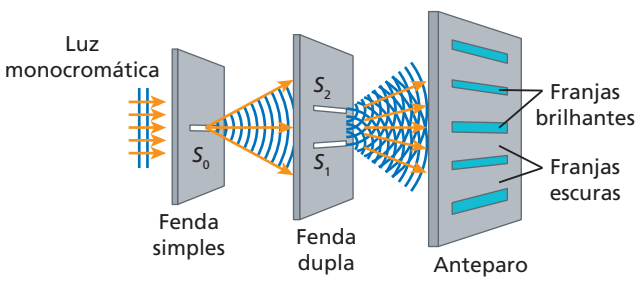
Admita que, numa situação ideal, a intensidade da velocidade de propagação de uma onda na superfície da água, v, seja dada por $v = \sqrt{gh}$, em que g é a intensidade da aceleração da gravidade e h é a profundidade local. Suponha ainda que a energia total associada à onda, E, que será admitida constante em sua propagação, seja expressa por $E = k \cdot v \cdot A^2$, em que k é uma constante que depende do meio líquido e A é a amplitude da onda.

Considere que em Nazaré, pela ação de fortes ventos, a água seja perturbada na região do cânion subaquático, com profundidade $h_0 = 3.240$ m, gerando-se um trem de ondas com comprimento de onda $\lambda_0 = 900$ m e amplitude $A_0 = 5$ m. Essas ondas vão se dirigir à costa onde a profundidade é $h = 40$ m. Admitindo-se $g = 10\ m/s^2$, determine:

a. o comprimento de onda λ do trem de ondas na região costeira; 7. a. $\lambda = 100$ m

b. a amplitude A das ondas ao atingirem a profundidade $h = 40$ m. 7. b. $A = 15$ m

8. (FCM Santa Casa-SP) Em uma das grandes disputas teóricas da Física, Sir Isaac Newton (1642-1727) defendia que a luz era constituída de corpúsculos, enquanto Christian Huygens (1629-1695) defendia que a luz era constituída por ondas. Em 1801, Thomas Young (1773-1829) realizou uma experiência que, na época, decidiu a questão favoravelmente a Huygens.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Na experiência realizada por Young, um feixe de luz monocromática incide sobre um primeiro anteparo contendo uma fenda simples. Esse feixe sofre difração ao passar por essa primeira fenda e segue para um segundo anteparo contendo duas fendas paralelas, as quais produzem novas difrações. Em seguida, a luz proveniente das duas fendas atinge um terceiro anteparo, que atua como uma tela, na qual é produzida uma imagem com regiões alternadas entre brilhantes e escuras, denominadas franjas.

A formação dessas franjas, no anteparo, se deve ao fenômeno ondulatório da 8. Alternativa **d**.

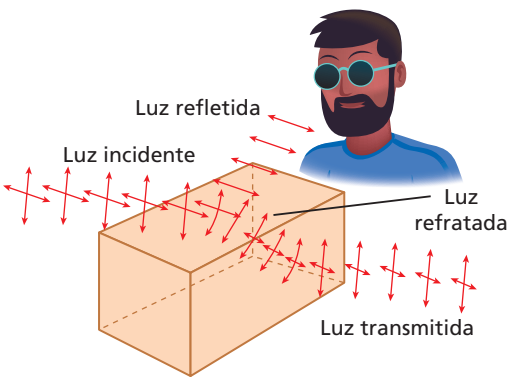
a. polarização.
b. dispersão.
c. refração.
d. interferência.
e. ressonância.

9. (IFSul-RS) Leia o texto e responda à questão.

Lentes polarizadas

Boa parte da luz refletida em superfícies não metálicas é polarizada. O brilho do vidro ou da água é um bom exemplo. A não ser para incidência perpendicular, o raio refletido contém mais vibrações paralelas à superfície refletora, enquanto o feixe transmitido contém mais vibrações em ângulos retos com as vibrações da luz refletida. O brilho das superfícies refletoras pode ser diminuído consideravelmente usando-se óculos escuros com lentes polaroides.

Fonte: HEWITT, Paul. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2015.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Um motorista de automóvel, buscando filtrar a luz refletida pelo asfalto, deseja comprar um óculos com lente polarizada. Para tanto, o eixo de polarização mais adequado é o plano 9. Alternativa **a**.

a. vertical para as duas lentes.
b. horizontal para as duas lentes.
c. vertical para a lente esquerda e plano horizontal para a lente direita.
d. horizontal para a lente esquerda e plano vertical para a lente direita.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 19

Acústica

OSCAR GONZALEZ/NURPHOTO/GETTY IMAGES

Músicos da Orquestra de Instrumentos Reciclados de Cateura, Assunção, Paraguai, tocando em Madri, Espanha (2019).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

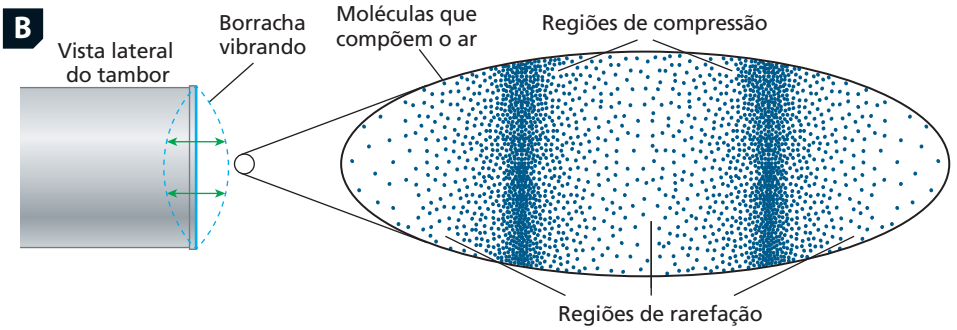
Estamos rodeados por ondas sonoras: ao conversar com um colega, ouvir as explicações do professor, apreciar uma boa música, tocar um instrumento musical, entre outras situações. Compreender as peculiaridades do som é necessário em alguns casos. Músicos, por exemplo, usam seus conhecimentos sobre as propriedades do som para tocar instrumentos musicais.

Neste capítulo, vamos estudar a área da Física que trata do estudo do som, chamada Acústica, além de analisarmos como as ondas sonoras são produzidas por meio de diferentes fontes.

Ondas sonoras

As ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais de pressão produzidas pela vibração de cordas, colunas de ar e membranas, entre outros. Essas ondas se propagam por meios materiais, como o ar, e são captadas pelo sistema auditivo dos seres vivos. Imagine, por exemplo, que uma pessoa bata em tambores feitos com latas de alumínio tampadas com membranas de borracha esticada, como mostra a figura A. A vibração da membrana produz uma perturbação no ar que se propaga pelo fluido, criando regiões de compressão e rarefação alternadas, conforme a figura B.

JUNIOR ROZZO/ARQUIVO DA EDITORA



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Tambores feitos com latas de alumínio tampadas com membranas de borracha esticada. **(B)** Representação esquemática da produção de ondas sonoras e sua propagação pelo ar. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Velocidade do som

LAYNE KENNEDY/GETTY IMAGES

Tempestade se formando sobre o rio Amazonas (2016).

Quanto mais distante ocorrer um relâmpago, maior será o intervalo de tempo entre avistarmos a luz gerada pela descarga elétrica e ouvirmos o som do trovão. Esse intervalo de tempo pode ser utilizado para avaliar a distância entre o ponto onde ocorreu a descarga e o local onde estamos. Mas como podemos fazer esse cálculo? Como mencionado anteriormente, a onda sonora é uma onda mecânica, isto é, ela precisa de um meio material para se propagar. Sua velocidade de propagação, entretanto, depende de uma série de variáveis, como a densidade, a temperatura e a pressão do meio de propagação. À pressão de 1 atm e temperatura de 20 °C, o som se propaga no ar a aproximadamente 343 m/s.

Considerando a estrutura microscópica da matéria, as ondas sonoras se propagam com velocidade de intensidade maior em sólidos do que em líquidos. Isso porque nos sólidos as moléculas que os compõem estão muito mais próximas do que nos líquidos.

A tabela a seguir mostra diferentes intensidades da velocidade do som em meios materiais distintos.

Intensidade da velocidade do som em diferentes meios materiais

Meio material	Intensidade da velocidade (m/s)
Ar (20 °C)	343
Água pura	1.481
Água do mar	1.500
Alumínio	5.150
Aço	5.050
Álcool etílico	1.150
Vapor	405
Concreto	3.100
Gelo	3.200

Fonte: elaborado com base em KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. **Fundamentals of Acoustics**. Nova York: John Wiley & Sons, 2000.

Valores da intensidade da velocidade do som em diferentes meios materiais.

Exemplo

Considere que uma pessoa registra a chegada do som (trovão) depois de um intervalo de tempo de 2 s da visualização de uma descarga elétrica (raio). Qual é a distância (D) entre o ponto onde ocorreu a descarga elétrica e essa pessoa? Adote o valor de 343 m/s para a intensidade da velocidade do som.

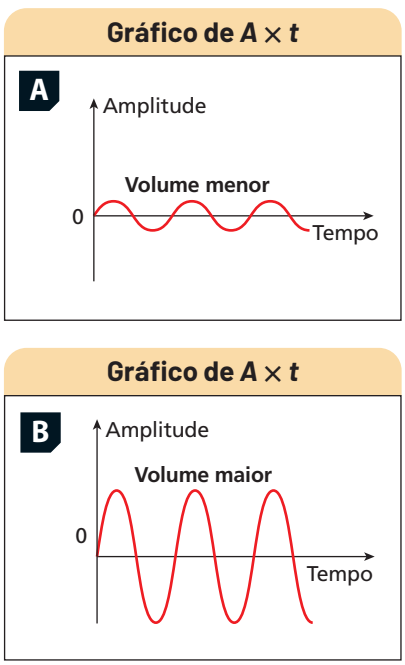
Desprezando o intervalo de tempo que a luz leva para percorrer a mesma distância que o som, pois a velocidade da luz é muito maior que a do som, temos:

$$D = v \cdot \Delta t \Rightarrow D = 343 \text{ m/s} \cdot 2 \text{ s} \therefore D = 686 \text{ m}$$

Intensidade sonora, altura e timbre

Antes de uma orquestra ou uma banda composta de vários instrumentos musicais diferentes iniciar a apresentação, os músicos conferem a afinação dos instrumentos tocando a mesma nota musical. Apesar de ser a mesma nota, percebemos sons distintos, vindos de instrumentos diferentes. Isso porque a percepção e a distinção de diferentes sons resultam da associação de três variáveis: a **intensidade sonora**, a **altura do som** e o **timbre**, denominadas **qualidades fisiológicas do som**.

A **intensidade sonora** está associada ao volume do som, à amplitude da onda e à energia que essa onda transporta. Sons com volume maior têm maior amplitude e sons com volume menor têm menor amplitude. A seguir são apresentados dois gráficos, com escalas e unidades de medida iguais, obtidos por um osciloscópio, um dispositivo que permite representar graficamente as características de uma onda sonora. Os gráficos mostram que o volume do som está associado à amplitude da onda.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Gráficos da variação da amplitude com o tempo. Ondas de amplitudes menores **(A)** são associadas a sons de volumes menores do que os associados a ondas de amplitudes maiores **(B)**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Pregas vocais e som

A **altura** do som está associada à frequência da onda. Quanto maior a frequência, mais agudo é o som e mais alto; quanto menor a frequência, mais grave é o som e mais baixo, como mostram os gráficos a seguir, que utilizam escalas e unidades de medida iguais.

Assim, verificamos que um som alto tem alta frequência e é mais agudo, o que não significa que o volume seja elevado. Portanto, ao nos referirmos a um som de alto volume, o correto é dizer que o som é intenso ou forte.

Gráfico de $A \times t$

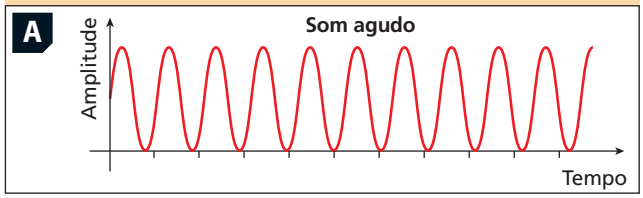
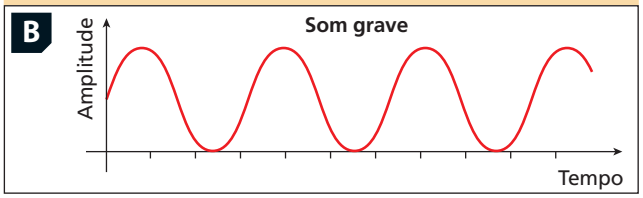


Gráfico de $A \times t$



Gráficos da variação da amplitude com o tempo. **(A)** O fato de um som ser mais agudo ou **(B)** mais grave está associado à frequência da onda sonora ou à altura desse som.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

No quadro a seguir, estão listados as notas musicais e os valores aproximados de suas frequências fundamentais. O intervalo entre uma nota e outra nota com metade ou o dobro de sua frequência, formando uma sequência, ou seja, o intervalo entre duas notas musicais consecutivas de mesmo nome, é chamado de oitava. Vale salientar que existem inúmeras notas musicais de frequências diferentes e distribuídas em diversas oitavas.

Notas musicais e suas respectivas frequências fundamentais

Nota musical	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si	Dó
Frequência fundamental (Hz)	261,63	293,66	329,63	349,23	391,99	440,00	493,88	523,25

Fonte: elaborado com base em BEAUCHAMP, J. W. **Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds**: The Sound of Music. Nova York: Springer, 2007.

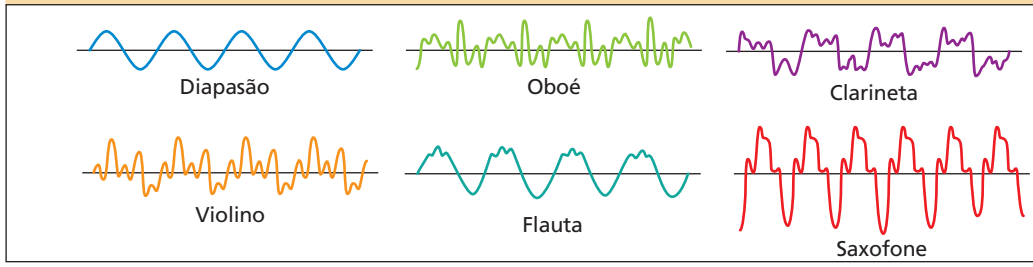
Valores das frequências fundamentais das notas de uma oitava.

Essa sequência de notas musicais prossegue para sons mais altos (agudos) e mais baixos (graves). Depois da nota Si, por exemplo, vem outro Dó com o dobro da frequência do Dó anterior, ou seja, uma oitava acima dele. Analogamente, em uma oitava abaixo desse Dó existe outro Dó com metade da frequência.

Frequências abaixo de 20 Hz, chamadas de **infrassons**, e acima de 20.000 Hz, chamadas de **ultrassons**, são inaudíveis pelos seres humanos. Embora essas frequências não possam ser percebidas pelos humanos, elas podem eventualmente ser ouvidas por outros animais.

O **timbre** é uma qualidade do som associada a cada fonte sonora e resulta da forma da onda final produzida pela fonte. Essa forma da onda final é associada a um som característico. Por exemplo, instrumentos musicais diferentes podem tocar a mesma nota musical com a mesma intensidade, mas seu timbre, isto é, a forma da onda que cada instrumento gera é diferente. Portanto, o timbre pode ser considerado uma espécie de impressão digital do som, pois é uma qualidade que possibilita distinguir os sons únicos emitidos por diferentes fontes. Assim como os sons emitidos por diferentes instrumentos musicais, cada voz humana tem um timbre único.

Padrões de onda associados ao timbre de diferentes instrumentos musicais



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

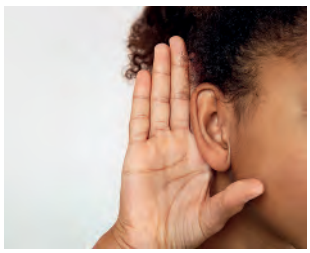
Fonte: elaborado com base em BORGES, A. N.; RODRIGUES, C. G. **Introdução à Física Acústica**. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

Representação dos padrões das ondas geradas por diferentes instrumentos tocando a mesma nota musical.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Audição

Nossa capacidade de ouvir e processar o som é denominada **audição**. As ondas sonoras são captadas pelo aparelho auditivo e convertidas em impulsos elétricos, que são conduzidos pelo nervo auditivo até o cérebro para serem devidamente interpretados. Esse processo de conversão introduz modificações significativas entre o som emitido e o som percebido pelo ouvinte.



AFRICA STUDIO/SHUTTERSTOCK

A captação das ondas sonoras se dá pelo aparelho auditivo.

Há uma atenuação das ondas sonoras ao serem captadas pelo sistema auditivo; assim, os sons não são percebidos com a mesma intensidade, mas, sim, de acordo com uma escala logarítmica.

Para descrever a maneira como o som é percebido pela orelha humana foi definida uma grandeza denominada **nível de intensidade sonora**, representada pelo símbolo **β**. A unidade de medida do nível de intensidade sonora é o **bel (B)**. Essa grandeza é dada pela seguinte equação, atribuída aos pesquisadores alemães Ernst Heinrich Weber (1795-1878) e Gustav Theodor Fechner (1801-1887).

$$\beta = \log\left(\frac{I}{I_0}\right)[\text{B}]$$

Em que I é a intensidade da onda sonora considerada e I_0 é a intensidade sonora mínima percebida por uma pessoa. Vale lembrar que esse valor varia de pessoa a pessoa e depende da frequência sonora. No entanto, considera-se um valor médio de referência igual a $10^{-12}\ \text{W/m}^2$ para a intensidade sonora mínima.

É muito comum adotar como referência, em vez do bel, sua décima parte, o **decibel (dB)**:

$$1\ \text{dB} = 0{,}1\ \text{B}$$

Assim, o nível de intensidade sonora, em decibel (dB), fica expresso por:

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)[\text{dB}]$$

A tabela a seguir apresenta intensidades sonoras (I) e os respectivos níveis de intensidade sonora (β) de alguns estímulos auditivos.

Intensidades sonoras e níveis de intensidade sonora para diferentes estímulos auditivos

Estímulo auditivo	I (W/m²)	β (dB)
Limiar da audição	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$	0
Farfalhar de folhagens ao vento	$1{,}0 \cdot 10^{-11}$	10
Cochicho	$1{,}0 \cdot 10^{-10}$	20
Conversação normal a 1 m de distância	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$	65
Dentro de um carro no tráfego urbano	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	80
Carro sem escapamento nas proximidades	$1{,}0 \cdot 10^{-2}$	100
Show de *rock* ao vivo próximo às caixas de som	1,0	120
Limiar da dor	10	130

Valores das intensidades sonoras e dos níveis de intensidade sonora correspondentes para diferentes estímulos auditivos.

Fonte: elaborado com base em CUTNELL, J. D.; JOHNSON, K. **Física**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

Exemplo

Uma onda sonora com intensidade igual a $1{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{W/m}^2$ é emitida por uma fonte. Qual é o nível de intensidade sonora dessa onda, em dB, considerando-se que a intensidade sonora mínima de referência é igual a $1{,}0 \cdot 10^{-12}\ \text{W/m}^2$?

Pela definição de nível da intensidade sonora, em decibel, temos:

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow \beta = 10 \cdot \log\left(\frac{1{,}0 \cdot 10^{-6}}{1{,}0 \cdot 10^{-12}}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta = 10 \cdot \log(10^{-6} \cdot 10^{12}) \Rightarrow \beta = 10 \cdot \log 10^6 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta = 10 \cdot 6 \cdot \log 10 \therefore \beta = 60\ \text{dB}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Considerando as qualidades fisiológicas do som, complete as lacunas a seguir.

a. A [redacted] é uma grandeza física que está associada ao volume do som, à energia que a onda sonora transporta e à sua amplitude. Sons com volume maior têm maior amplitude do que sons com volume menor. 1. a. Intensidade sonora.

b. Quanto maior ou menor a [redacted], mais agudo ou grave é o som. 1. b. Altura.

c. O [redacted] é uma qualidade do som associada à fonte sonora, e resulta da forma da onda característica produzida por cada fonte. 1. c. Timbre.

2. Quando pedimos a alguém para que reduza o volume de um equipamento de som, é correto dizer: "Por favor, reduza o volume, pois o som está muito alto."? Justifique.

2. Não, pois altura do som está relacionada à sua frequência, não à sua intensidade.

3. (Enem) Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro.

Essa diferenciação se deve principalmente ao(à) 3. Alternativa **d**.

a. intensidade sonora do som de cada instrumento musical.

b. potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.

c. diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.

d. timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.

e. altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO

Os limites do som: a superexposição e seus impactos na saúde

Os sentidos do corpo humano desempenham um papel fundamental na percepção do ambiente externo. Em nossa vida cotidiana, interagimos continuamente com os elementos ao nosso redor. Os sons e ruídos são elementos-chave nessa percepção, sendo principalmente captados pela orelha humana, mas outras formas de percepção, como vibrações físicas em materiais, também podem ocorrer. Em geral, o som desempenha um papel importante na comunicação e a qualidade dos sons e ruídos aos quais estamos constantemente expostos pode ter um impacto significativo na saúde física e mental.

Nas áreas urbanas, por exemplo, é comum que a poluição sonora crie um ambiente hostil, que resulta da multiplicidade de fontes sonoras, como o tráfego intenso de veículos, máquinas operando na construção civil, latidos de cães e uma variedade de outros ruídos associados à vida urbana, como música, vozes e brincadeiras de crianças, entre outros. O ambiente sonoro de uma grande cidade, algumas vezes caótico, pode afetar o bem-estar da população.

A exposição a ruídos intensos é um dos fatores que contribuem para a perda auditiva parcial ou total. Outros fatores, como a ruptura ou perfuração do tímpano, infecções recorrentes no ouvido e certas condições crônicas ou genéticas podem agravar ou intensificar a perda auditiva.

A exposição excessiva a ruídos também pode ser associada ao uso inadequado de fones de ouvido, com volumes extremamente intensos e por períodos prolongados. Ao longo do tempo, esse uso inadequado dos fones de ouvido pode levar a perdas auditivas progressivas e culminar na perda auditiva total, condição na qual nenhum som é perceptível. Portanto, durante o uso de fones de ouvido, é essencial monitorar o volume do som – a intensidade sonora – para evitar o estresse excessivo no sistema auditivo.

Outro fator de risco é a perda auditiva degenerativa associada ao envelhecimento. Com o avançar da idade, ocorre a morte natural das células auditivas, que não se regeneram, resultando na dificuldade de captar sons em determinadas frequências. Para amenizar os efeitos desse processo na audição da pessoa idosa, é fundamental adotar alguns cuidados, como usar protetores auriculares quando necessário, evitar exposição a ruídos intensos por períodos prolongados e realizar consultas médicas preventivas.

Além dos impactos na saúde física da orelha humana, os sons e ruídos podem ter sérias repercussões na saúde mental. A exposição contínua a esses estímulos pode desencadear um estado de estresse no corpo, resultando no aumento da liberação de cortisol, um hormônio associado à resposta do organismo a situações de tensão ou perigo. Isso pode levar a alteração dos batimentos cardíacos, aumento da pressão arterial e dos níveis de glicose, criando uma sensação de alerta constante. Essa condição pode,

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. Poluição sonora é o excesso de ruído no ambiente que causa prejuízos à saúde. Tráfego, construções e atividades industriais são exemplos do cotidiano.
2. Fiscalização de obras, uso de transportes sem ser a combustão etc.

Continuação

ainda, prejudicar o sono, reduzir a capacidade de concentração e diminuir a produtividade, o que pode resultar em efeitos psicológicos adversos e agravar sintomas de distúrbios como ansiedade e depressão. Pessoas com hipersensibilidade auditiva, uma condição na qual sons geralmente toleráveis para a maioria das pessoas se tornam extremamente incômodos para aqueles que sofrem dessa condição, são mais suscetíveis a esses efeitos.

Nas áreas urbanas, várias iniciativas vêm sendo implementadas para colaborar na redução dos ruídos e, consequentemente, amenizar os impactos da poluição sonora, visando melhorar o bem-estar da população. Algumas dessas iniciativas incluem o aumento da fiscalização em obras, garantindo que operem nos horários permitidos, e o incentivo ao uso de meios de transporte mais sustentáveis, como bicicletas e transporte público, visando reduzir o número de veículos nas vias urbanas.

1. Explique o conceito de poluição sonora e sua ocorrência nas grandes cidades. Quais os tipos de ruído predominantes em seu cotidiano?
2. Quais medidas vêm sendo adotadas para diminuir os impactos da poluição sonora nas áreas urbanas? Além das mencionadas no texto, pesquise outras estratégias que poderiam ser implementadas para promover o bem-estar da população local em relação a esse problema.
3. A exposição prolongada a níveis de intensidade sonora superiores a 120 dB pode ser danosa, causando até mesmo sensação de dor. Em grupo com dois colegas, pesquisem o nível de intensidade sonora no cruzamento de duas avenidas movimentadas de uma grande cidade e nas proximidades das caixas de som em um *show* musical. Como esses níveis de intensidade sonora podem afetar a saúde das pessoas expostas a eles a longo prazo?

3. Espera-se que os estudantes concluam que a exposição a longo prazo pode levar à perda auditiva, impactar a saúde mental e a qualidade de vida, e que reflitam sobre a importância do cuidado com a saúde auditiva.

Fique por dentro

Você sabe o que o ruído causa em sua saúde?

VOCÊ sabe o que o ruído causa em sua saúde? Distrito Federal: Secretaria de Saúde do Distrito Federal. 1 vídeo (2 min). Publicado pelo canal Secretaria de Estado de Saúde do DF. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=eBKiSlAui70. Acesso em: 24 set. 2024.

Esse vídeo mostra como a exposição a ruídos pode impactar a saúde a longo prazo e indica algumas medidas que podem ser implementadas para preservar a saúde auditiva.

OBJETO DIGITAL *Podcast*: Mundo das profissões: a pessoa especialista em acústica ambiental

Reflexão, refração e difração de ondas sonoras

Você já reparou que o som da sua voz em uma sala vazia, que ainda esteja em fase de acabamento, por exemplo, é diferente de quando essa sala está mobiliada, com cortinas e quadros nas paredes? Essa diferença ocorre porque entre a **emissão** do som e sua **recepção** ocorrem diversos fenômenos, entre eles a reflexão e a refração.

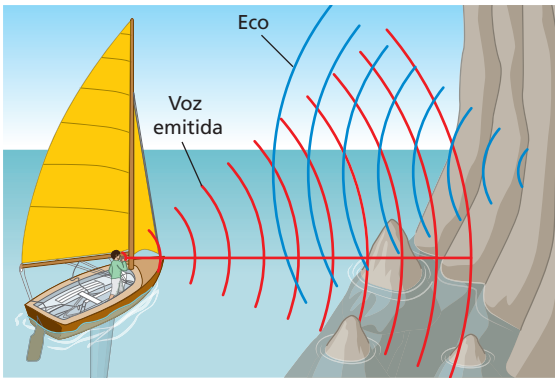
Esses fenômenos, como estudaremos, podem alterar a intensidade e a duração dos sons que escutamos. Por isso, é importante a escolha adequada de materiais, formas das paredes, tetos e até do mobiliário, sobretudo em estúdios de gravação e salas para apresentações musicais.

OLGA SAPEGINA/SHUTTERSTOCK

Interior de uma sala vazia, sem acabamento.

Reflexão do som

As ondas sonoras podem sofrer reflexão, refração e difração. Uma das maneiras mais usuais de perceber a reflexão do som é pelo eco. Considere que uma onda sonora é emitida e que, no caminho, há um obstáculo, como uma parede, uma montanha ou um penhasco. Ao atingir o obstáculo, a onda sonora é refletida, retorna e pode ser ouvida novamente por seu emissor.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da reflexão do som. O eco é um exemplo da ocorrência de reflexão de ondas sonoras. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reverberação e eco

Avisos sonoros veiculados em amplas estações rodoviárias ou em saguões de aeroportos podem ser difíceis de entender perfeitamente. Por que isso ocorre?

WTONDOSSANTOS/SHUTTERSTOCK

Terminal rodoviário do Tietê em São Paulo, SP (2018).

Nesses ambientes, o som pode se tornar ininteligível porque ocorre a reflexão das ondas sonoras em paredes e outras estruturas. Com isso, o ouvinte recebe sucessivamente ondas que ricocheteiam uma ou mais vezes, produzindo dois fenômenos acústicos que se diferenciam de maneira sutil: **reverberação** e **eco**.

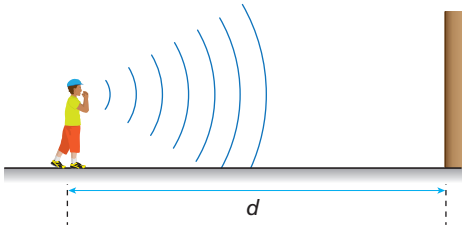
Para diferenciarmos a reverberação do eco, é importante conhecer um detalhe da audição humana: é possível distinguir dois sons breves se o intervalo de tempo entre eles for maior que 0,10 s (um décimo de segundo) – dois estampidos, por exemplo. Esse fenômeno é denominado **persistência auditiva**. Assim, se dois sons chegarem às nossas orelhas com um intervalo de tempo menor do que 0,10 s, não será possível distingui-los, pois no instante do segundo estímulo o tímpano ainda estará vibrando pela ação do primeiro estímulo, o que dará a percepção de um prolongamento do som, que caracteriza a **reverberação**.

A dificuldade de compreender claramente avisos sonoros veiculados em amplas estações rodoviárias ou em saguões de aeroportos se deve, em grande medida, à reverberação sonora.

Para que ocorra o **eco**, o som refletido deve atingir a orelha humana após 0,10 s, isto é, depois de cessada a vibração da membrana timpânica provocada pelo primeiro estímulo. Com isso, são percebidos separadamente os dois sons: o direto e o refletido.

Exemplo

Considerando-se que o som se propaga no ar com velocidade de intensidade próxima de 340 m/s, calcule a distância d entre um observador que emite um som monossilábico e um anteparo refletor para a ocorrência de eco.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da emissão de um som monossilábico por um observador a uma distância d de um anteparo refletor. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No percurso de ida e volta, com a incidência e a reflexão da onda sonora no anteparo, o som percorre uma distância $D = 2d$ em movimento uniforme. Logo:

$$v_{som} = \frac{D}{\Delta t} = \frac{2d}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{2d}{v_{som}}$$

Para que ocorra o eco, $\Delta t > 0{,}10$ s, logo:

$$\frac{2d}{v_{som}} > 0{,}10 \text{ s} \Rightarrow \frac{2d}{340 \text{ m/s}} > 0{,}10 \text{ s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d > \frac{340 \text{ m/s} \cdot 0{,}10 \text{ s}}{2} \therefore d > 17 \text{ m}$$

Refração do som

Você já mergulhou a cabeça na água e tentou escutar? Embora os ruídos produzidos fora da água possam ser ouvidos, eles se tornam mais difíceis de ser compreendidos. Isso acontece por causa da **refração do som**, que ocorre quando a onda sonora muda de meio de propagação. Nesse caso, há uma alteração da velocidade e do comprimento de onda. A frequência, entretanto, permanece constante. O contrário também ocorre se a fonte sonora estiver dentro da água; nesse caso, se estivermos fora da água, teremos mais dificuldade de compreender o som.

Difração do som

O fenômeno da **difração do som** faz com que as ondas emitidas consigam transpor obstáculos no caminho. Um dos exemplos da difração acontece em espetáculos de música dentro de locais projetados para receber esse tipo de evento, por exemplo, em teatros.

ANDRE DIB/PULSAR IMAGENS

Interior do Teatro Amazonas (Manaus, AM, 2020).

Nesses lugares, ondas sonoras chegam aos espectadores independentemente de sua posição na plateia e das pessoas ao redor, isto é, as ondas sonoras transpõem os obstáculos para chegar às orelhas das pessoas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

As embarcações modernas, militares, turísticas ou de pesca são equipadas com sonares, aparelhos que emitem ondas ultrassônicas de grande intensidade rumo ao fundo de mares, rios e lagos, registrando em seguida o respectivo eco (som refletido). Por meio de sonares, é possível obter o perfil do piso subaquático, bem como detectar a presença de cardumes, bancos de areia, rochas e *icebergs*. A ilustração a seguir apresenta um navio emitindo ondas de sonar em direção a uma baleia. Isso não é recomendável, já que baleias, golfinhos e outros animais aquáticos que podem ouvir alguns ultrassons se desorientam e muitas vezes deixam seus ecossistemas de alimentação e reprodução.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de ultrassons sendo emitidos pelo sonar de um navio e atingindo uma baleia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Suponha que um sonar opere com ondas de comprimento de onda $\lambda = 3{,}0$ cm que se propagam na água com velocidade de intensidade $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s. Admitindo-se que um pulso sonoro disparado verticalmente para o fundo do mar retorne ao aparelho depois de $\Delta t = 0{,}8$ s, determine:

a. **a frequência *f* das ondas desse sonar;**

b. **a profundidade *p* do oceano no local onde se encontra a embarcação.**

Analisar o enunciado

Os sonares emitem ondas ultrassônicas de grande intensidade rumo ao fundo de mares, rios e lagos, registrando em seguida o respectivo eco, ou seja, a onda sonora refletida.

Selecionar as informações relevantes

Características das ondas do sonar:

$\lambda = 3{,}0 \text{ cm} = 3{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ e $v = 1{,}5 \cdot 10^3$ m/s

O pulso sonoro disparado verticalmente para o fundo do mar retorna ao aparelho depois de $\Delta t = 0{,}8$ s.

Aplicar o conceito estudado

a. Aplicando-se a equação fundamental da ondulatória, determina-se a frequência das ondas desse sonar.

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s}}{3{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}} \therefore f = 5{,}0 \cdot 10^4 \text{ Hz} = 50{,}0 \text{ kHz}$$

b. Durante o intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}8$ s, o pulso sonoro percorre duas vezes a medida da profundidade *p* do local, em seu trânsito de ida ao fundo do mar e volta ao sonar. Considerando-se a intensidade da velocidade do som na água constante, concluímos que o movimento das ondas é uniforme, permitindo-nos determinar a medida da profundidade *p* do oceano no local onde se encontra a embarcação, da seguinte maneira.

$$v = \frac{2p}{\Delta t} \Rightarrow 1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s} = \frac{2p}{0{,}8 \text{ s}} \Rightarrow p = 0{,}4 \text{ s} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s} \therefore p = 6{,}0 \cdot 10^2 \text{ m} = 600{,}0 \text{ m}$$

A maior profundidade do oceano é de cerca de 11.000 m, chamada Depressão Challenger, localizada na Fossa das Marianas, um abismo no oeste do Oceano Pacífico que se estende por aproximadamente 2.540 km.

Verificar a solução

Se o sonar opera com ultrassons, a frequência esperada para as ondas emitidas por ele deve ser maior que 20,0 kHz, que é considerada a maior frequência que pode ser ouvida pelo ser humano. Portanto, 50,0 kHz correspondem à frequência de um ultrassom.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Na reverberação o som refletido é percebido "emendado" com o som principal, e no eco, o som refletido é percebido separado do som principal.

5. O intervalo de tempo entre duas palmas consecutivas deve ser igual ao intervalo de tempo gasto pelo som ir ao penhasco, refletir-se e retornar ao garoto.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

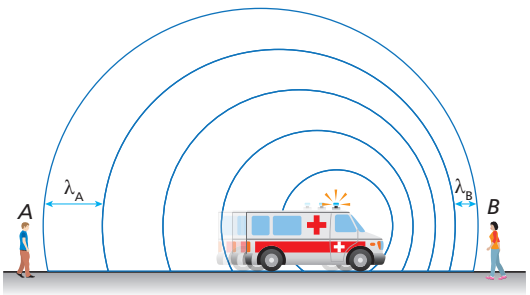
Registre em seu caderno

4. Qual é a diferença entre reverberação e eco?

5. Um garoto, parado diante do paredão vertical de um penhasco, bate palmas regularmente e nota que, a partir da segunda palma, incluindo-se esta, todas as demais coincidem com a audição do eco da palma imediatamente anterior. Qual é a condição matemática para que isso ocorra?

Efeito Doppler

Você já vivenciou alguma das seguintes situações? Quando um carro se aproxima, você percebe o ronco do motor mais agudo e, depois de ele passar e se afastar, você percebe o ronco do motor mais grave. O mesmo acontece ao ouvirmos a sirene de uma ambulância: quanto mais rapidamente a ambulância se aproxima, mais agudo é o som que percebemos. Analogamente, percebemos o som mais grave quanto mais rapidamente a ambulância se afasta. Isso ocorre porque a fonte de ondas sonoras está em movimento em relação ao observador. Se estivermos parados e a fonte sonora se aproximar, observamos a frequência das ondas aparentemente maior do que a realmente emitida; quando a fonte se afasta, observamos a frequência aparentemente menor. Esse efeito foi descrito pela primeira vez pelo matemático e físico austríaco Christian Andreas Doppler (1803-1853), sendo conhecido hoje como **efeito Doppler**.



Representação esquemática de um observador *A*, que percebe o som da sirene mais grave, e um observador *B*, que percebe esse som mais agudo por causa do efeito Doppler. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se a fonte, emitindo uma onda sonora de frequência f_{fonte}, aproxima-se com velocidade v_{fonte} de um observador parado, a frequência observada por ele ($f_{observada}$) pode ser calculada pela expressão:

$$f_{observada} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} - v_{fonte}}$$

Em que v_{som} é a intensidade da velocidade do som no meio.

Se a fonte se afastar com velocidade de mesma intensidade, temos:

$$f_{observada} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} + v_{fonte}}$$

Aplicando o mesmo raciocínio, é possível obter uma expressão geral que abrange tanto o movimento do observador quanto o da fonte. Dessa forma, considerando que uma fonte emita uma onda sonora de frequência f_{fonte}, a frequência observada, $f_{observada}$, é dada por:

$$f_{observada} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som} \pm v_{observador}}{v_{som} \pm v_{fonte}}$$

Para obter os sinais das velocidades do observador ($v_{observador}$) e da fonte (v_{fonte}), a trajetória deve ser orientada sempre do observador para a fonte; assim, os sinais serão positivos quando o movimento ocorrer no mesmo sentido da trajetória e negativos quando o movimento ocorrer no sentido oposto.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA O efeito Doppler em ondas sonoras

O efeito Doppler pode ser vivenciado pelas pessoas no dia a dia, mas não é reconhecido pelo nome. No entanto, apesar disso, dificilmente pode-se ter controle sobre esse efeito em situações do cotidiano. Nesta atividade prática, será possível não só controlar esse efeito, como também medi-lo com um aplicativo de celular.

OBJETIVO

Identificar a variação da frequência do som observada em consequência da movimentação da fonte sonora.

MATERIAIS

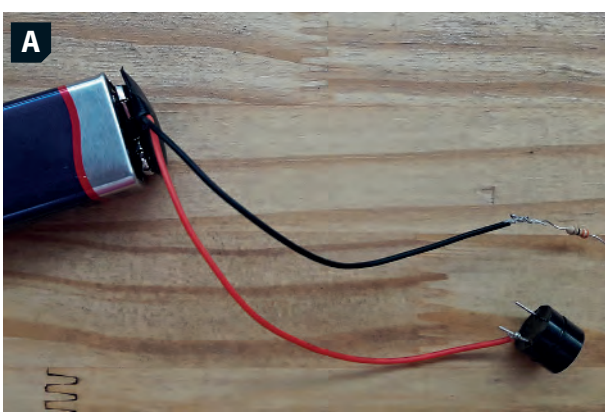
- Bola de tênis ou outro tipo de bola que tenha rigidez similar.
- Bateria 9 V.
- Clipe para bateria 9 V.
- *Buzzer* 9 V. Explique para os estudantes que o *buzzer* é um dispositivo usado para gerar ondas sonoras.
- Elásticos.
- Parafuso curto de 1,5 cm com cabeça e porca.
- Fita isolante.
- Celular com aplicativo para medição da frequência do som.
- Tesoura de pontas arredondadas.
- 1 metro de barbante.

PREPARE-SE!

A frequência do som observada ($f_{observada}$), devido ao efeito Doppler, depende da intensidade da velocidade da fonte sonora, v_{fonte}, e da intensidade da velocidade do som, v_{som}. Para um observador parado, qual é a expressão que permite calcular a frequência observada por ele?

PROCEDIMENTO

- Faça a ligação elétrica do *buzzer* com a bateria. Para fazer essa ligação, há um lado específico da bateria para ligar o polo positivo do *buzzer* e outro para ligar o polo negativo, conforme representado na figura A.



JULIE ARC/ARQUIVO DA FOTÓGRAFA

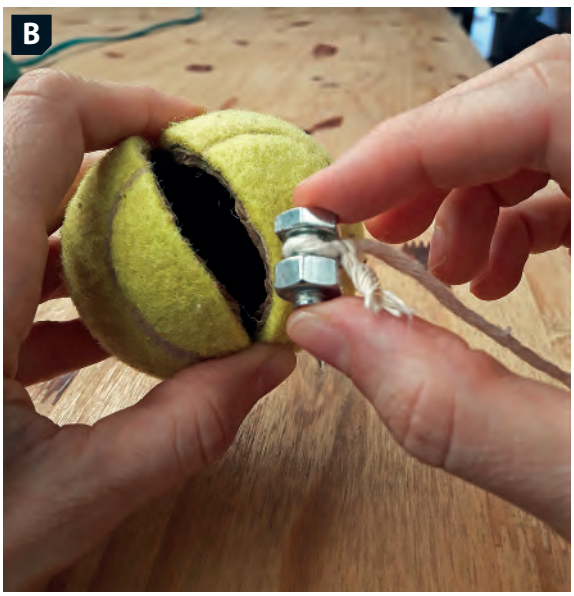
Ligação da bateria ao *buzzer*.

- Com a tesoura de pontas arredondadas, tomando cuidado para não se ferir, faça uma fenda na bola de tênis de tamanho suficiente para a bateria, o *buzzer* e o parafuso passarem. Tente fazer o menor corte possível para preservar a estrutura da bola.

É recomendável que o professor seja o responsável por fazer a fenda na bola de tênis.

Cuidado ao manusear a tesoura para evitar ferimentos.
Descarte as aparas de barbante e fita isolante no lixo comum. O restante do material pode ser limpo e guardado para futuro reaproveitamento.

- Amarre bem firme uma das extremidades do barbante entre a cabeça e a porca do parafuso, como mostra a figura B. Então, posicione o parafuso no interior da bola e deixe o barbante saindo pela fenda.



JULIE ARC/ARQUIVO DA FOTÓGRAFA

Inserção do parafuso pela fenda na bola de tênis.

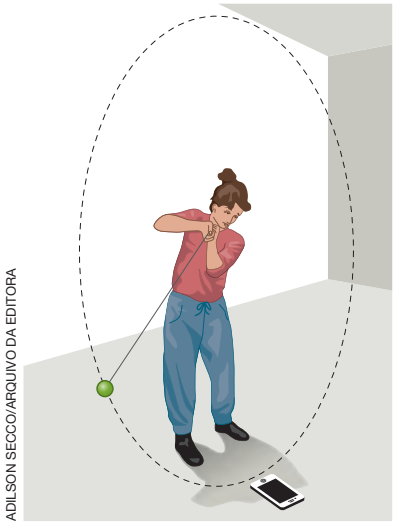
- Depois de colocar o parafuso, introduza também a bateria e o *buzzer* no interior da bola. Use fita isolante para fortalecer os contatos entre os fios, já que não há muito espaço no interior da bola. Uma opção é deixar o *buzzer* para fora da bola com um dos polos desconectados e conectá-lo apenas quando fizer a medição.
- Amarre a bola com elásticos, de modo que a fenda fique o mais fechada possível, e acomode os fios que ficam para fora no mesmo elástico que amarra a bola. Teste se a montagem suporta rotações rápidas e faça ajustes no barbante, no parafuso e na amarração, se necessário. Faça a ligação elétrica final do circuito quando a medição for começar.
- Em seguida, em local fechado e silencioso, posicione o celular no chão, em repouso, e gire a bola em um plano vertical bem próximo ao celular, como na figura a seguir.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

5. Resposta pessoal. A atividade favorece o desenvolvimento da habilidade EM13CNT302, uma vez que os estudantes comunicam ao professor e aos colegas os resultados de análises do experimento realizado, elaborando e interpretando os resultados. Também se espera que esta atividade promova um debate ou uma discussão do experimento e seus resultados, possibilitando aos estudantes identificar as eventuais dificuldades encontradas durante sua realização e as registrar, propondo sugestões de melhorias.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

4. Aproximação: 3.505 Hz
Afastamento: 2.317 Hz

Representação esquemática do experimento durante a fase de medição. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- Quando o movimento de giro se estabilizar, use um aplicativo que permita medir a frequência do som (há alguns gratuitos que têm essa funcionalidade). Registre esse dado em seu caderno.
- Faça outro tipo de movimento com o conjunto; por exemplo, movimente a bola verticalmente com a mão, para cima e para baixo, mantendo o celular em repouso no chão. Meça novamente a frequência do som com o aplicativo e registre esse dado.
- Por último, faça a bola oscilar próximo ao celular em repouso no chão, realizando um movimento pendular. Meça a frequência do som com o aplicativo e registre esse dado.

1. Depende do modelo do *buzzer*; pode ser, por exemplo, 2.789,8 Hz.

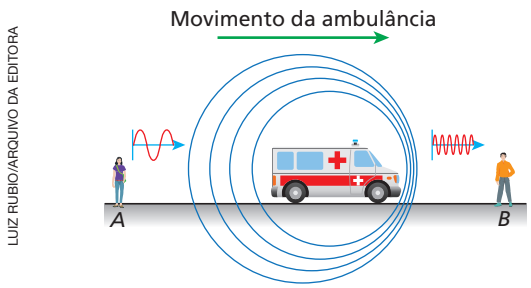
1. Com o *buzzer* e o celular em repouso, meça a frequência do som usando o aplicativo. Faça no mínimo três medições sucessivas da frequência do som do *buzzer* em repouso para determinar o valor médio de referência (em Hz) que será considerado nos próximos cálculos.
2. Compare as medidas da frequência do som que você registrou nos três testes de movimentação do *buzzer* durante o experimento. Em qual dos três movimentos foi possível registrar a maior frequência do som? Por quê? 2. Com o *buzzer* em rotação.
3. O efeito Doppler é mais perceptível no movimento de oscilação ou no movimento linear vertical do *buzzer* sonoro? Por quê? 3. De oscilação.
4. Se esse mesmo *buzzer* estivesse se movimentando a 250 km/h e você estivesse parado observando, qual seria a frequência do som observada na situação de aproximação do *buzzer*, devido ao efeito Doppler? E na situação de afastamento? Para a frequência da fonte, use o valor médio obtido para a frequência do *buzzer* na questão 1.
5. Em grupo com dois colegas, comparem os dados obtidos. Produzam uma apresentação de *slides* com os resultados dos seus experimentos e apresentem aos colegas, discutindo as diferenças entre os resultados, a adequação do aparato experimental para as medições realizadas e sugestões para melhorias do experimento.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

6. Em um local sem vento, uma ambulância trafega com velocidade constante por uma rua retilínea, com a sirene ligada, afastando-se de uma pessoa *A* e aproximando-se de uma pessoa *B*, ambas em repouso em relação ao solo. As circunferências da ilustração a seguir representam as frentes de ondas sonoras emitidas pela sirene.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do movimento da ambulância, com a sirene ligada, em relação às pessoas *A* e *B*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Devido ao efeito Doppler, em relação ao som emitido pela sirene, o som percebido pela pessoa: 6. Alternativa **b**.

a. *A* é mais grave, uma vez que a frequência da onda sonora recebida por ela é maior do que a emitida pela sirene.

b. *B* é mais agudo, uma vez que o comprimento de onda do som ouvido por ela é menor do que o emitido pela sirene.

c. *B* é mais grave, uma vez que o comprimento de onda do som ouvido por ela é maior do que o emitido pela sirene.

d. *A* é mais agudo, uma vez que o comprimento de onda do som ouvido por ela é menor do que o emitido pela sirene.

e. *B* é mais agudo, uma vez que a frequência da onda sonora recebida por ela é menor do que a emitida pela sirene.

7. Em um dia sem vento, um guarda de trânsito encontra-se parado em um cruzamento de uma grande cidade, quando observa a aproximação de uma ambulância com a sirene ligada emitindo ondas sonoras com frequência de 800 Hz. Devido ao movimento relativo entre a ambulância e ele, porém, o guarda ouve o som emitido pela sirene com uma frequência aparente de 850 Hz.

Considerando-se que a intensidade da velocidade do som no ar seja de 340 m/s, qual é a intensidade da velocidade com a qual a ambulância se aproxima do guarda, em km/h? 7. 72 km/h

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Instrumentos musicais

A música é uma manifestação cultural interativa, compartilhada em diferentes contextos sociais, conectando pessoas de distintas culturas. Ela se iniciou com a voz e, à medida que novas tecnologias foram sendo desenvolvidas, foram criados os chamados **instrumentos musicais**, que aperfeiçoaram o processo de produção das músicas, dando origem a bandas musicais e orquestras em geral. A transformação e a invenção de equipamentos para produzir música são processos contínuos também influenciados pelo desenvolvimento científico. Com a popularização da eletricidade, por exemplo, foram desenvolvidos as guitarras elétricas, os instrumentos de percussão digitais e os sintetizadores.

A música é uma arte que está permeada de conceitos físicos e matemáticos, como estudaremos a seguir.

JONATHAN DOURADO/O POETA DA LUZ

Banda de Pífanos Caju Pinga Fogo, do Piauí, um dos muitos grupos de música instrumental que preservam essa tradição cultural do Nordeste brasileiro, composta de pífanos (pequenas flautas transversais) e percussão (2022).

Instrumentos de corda

Os instrumentos de corda, como o próprio nome diz, são os que produzem som pela vibração de uma ou mais cordas. O material que compõe as cordas pode variar; os mais comuns atualmente são náilon, metais como aço e bronze e fibras sintéticas revestidas de ligas metálicas. Há várias maneiras de fazer vibrar essa corda, por exemplo, pelos dedos do instrumentista ou por meio de objetos como palhetas, no caso de violões e guitarras, ou arcos, no caso dos violinos e violoncelos.

Em um violão, o som é produzido por cordas vibrantes. E quanto à forma do corpo do violão, ela altera o tipo de som produzido? Quando o som é gerado pelas cordas vibrantes, ele entra em ressonância com o corpo do violão, que amplifica esse som, criando também seu timbre característico.

Então qual é a função do corpo do violão? Como sua profundidade e sua forma podem alterar o som produzido? Para responder a essas perguntas, precisamos entender o conceito de ressonância.

Ressonância

A **ressonância** é um aumento da amplitude de vibração em virtude de uma superposição de perturbações que vibram em frequências iguais. Para compreender esse conceito, vamos analisar o movimento de uma pessoa em um balanço de um parque infantil. Para ganhar altura durante o movimento de se balançar, a pessoa precisa movimentar os braços e as pernas no momento certo. Para isso, o movimento deve ter frequência igual à frequência natural de oscilação do balanço. A **frequência natural** é uma característica própria de um dado corpo, como uma corda ou um pêndulo, ao vibrar. No caso do balanço, o sistema se assemelha muito a um pêndulo simples. Quando o balanço recebe energia do movimento do corpo da pessoa com frequência igual à sua frequência natural, passa a oscilar com maior amplitude de movimento.

WESTEND61/GETTY IMAGES

Ao movimentar os braços e as pernas na mesma frequência natural do balanço, a criança ganha altura.

O peculiar formato de instrumentos como o violão, o violino, o cavaquinho, a viola caipira e o uquelele, que possuem um corpo bojudo, tem a função de amplificar as ondas sonoras produzidas pelas cordas por meio do fenômeno da ressonância. Assim como esses instrumentos, todos os instrumentos de corda, como o piano, o cavaquinho e o berimbau, são construídos com uma caixa de ressonância, também conhecida como o corpo do instrumento.

CHARNSITR/SHUTTERSTOCK

JOÃO FÁVERO/FOTOARENA

Exemplos de instrumentos de corda: **(A)** berimbau e **(B)** cavaquinho.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

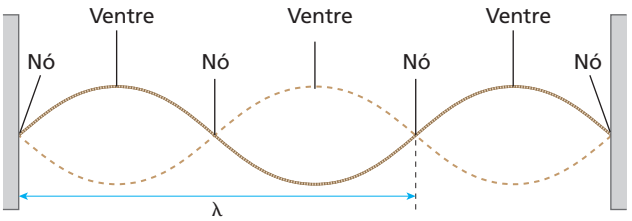
Museu virtual de instrumentos musicais

MUSEU VIRTUAL DE INSTRUMENTOS MUSICAIS (MVIM). **Instrumentos**. Disponível em: https://www.mvim.com.br/instrumento/. Acesso em: 24 set. 2024.

Nesse *site*, você pode conhecer um pouco mais a técnica e a história de diferentes instrumentos musicais, por meio de fotografias, vídeos e áudios que apresentam os sons característicos de instrumentos de diversas partes do mundo.

Ondas estacionárias

As ondas que se propagam pelas cordas geralmente produzem **ondas estacionárias**. Essas ondas se formam pela superposição de ondas idênticas que se propagam em sentidos opostos devido à reflexão das perturbações nas extremidades fixas. O resultado desse fenômeno é uma onda que apresenta um padrão de vibração constante. Esse padrão é formado por pontos da corda que não vibram, caso dos locais em que há interferência destrutiva entre as ondas, chamados de **nós** (ou nodos), e por pontos que vibram com máxima amplitude, caso dos locais da corda em que há interferência construtiva, chamados de **ventres** (ou antinodos). Como as cordas dos instrumentos estão presas em suas extremidades rígidas, esses pontos sempre serão nós.

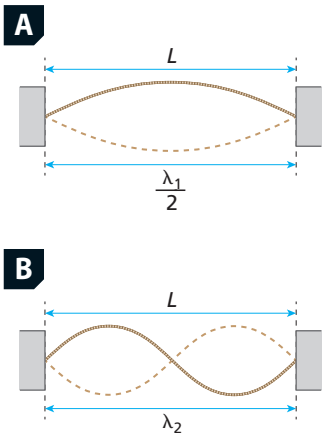


Representação esquemática dos nós e ventres de uma onda estacionária em uma corda.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Embora a onda estacionária seja constituída por pulsos que vão e vêm ao longo da corda, sua velocidade de propagação é nula, pois a onda estacionária, que constitui apenas um padrão de interferência, não se propaga no espaço; daí sua denominação **estacionária**.

Outra característica das ondas estacionárias é que a distância entre dois nós ou dois ventres consecutivos é igual à metade do comprimento de onda, $\frac{\lambda}{2}$. Dessa forma, a distância entre um nó e um ventre, também consecutivos, é igual a $\frac{\lambda}{4}$.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação esquemática do modo fundamental e **(B)** do segundo modo de vibração ou segundo harmônico.

As ondas nas cordas podem vibrar de diferentes modos. O **primeiro modo de vibração**, também chamado **modo fundamental** de vibração ou **primeiro harmônico**, ocorre quando temos metade de uma onda vibrando entre os nós. Para uma corda de comprimento L, o primeiro harmônico pode ser representado pela figura A.

Como a distância entre dois nós consecutivos é igual à metade do comprimento de onda, temos:

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \Rightarrow \lambda_1 = 2L$$

Substituindo o comprimento de onda do modo fundamental na equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 2L \cdot f_1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$$

Para o **segundo modo de vibração** ou **segundo harmônico**, a distância entre os dois nós das extremidades corresponde a uma onda inteira, $\lambda_2 = \frac{2L}{2} = L$, como mostra a figura B. Logo, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = L \cdot f_2 \Rightarrow f_2 = \frac{v}{L} \text{ ou } f_2 = 2f_1$$

Assim, podemos generalizar o caso e obter uma equação para calcular o comprimento de onda de um harmônico de ordem n e sua respectiva frequência de vibração.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \left(\text{sendo } n = 1, 2, 3, \ldots\right)$$

$$f_n = n \cdot \frac{v}{2L} \left(\text{sendo } n = 1, 2, 3, \ldots\right)$$

Para um harmônico de ordem n presente em uma corda vibrante, a frequência f_n também pode ser obtida pela equação fundamental da ondulatória:

$$v = \lambda_n f_n \Rightarrow f_n = \frac{v}{\lambda_n}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na prática, o comprimento da corda vibrante de um instrumento musical que gera os harmônicos varia de acordo com a posição da mão que pressiona essa corda. Pressionar as cordas de um instrumento musical em diferentes posições enquanto elas vibram produz diferentes notas musicais.

NIELS ANDREAS/FOLHAPRESS

Helena Meirelles (1924-2005), violeira sul-mato-grossense conhecida internacionalmente por sua forma original de tocar a viola dinâmica ou repentista (1994).

Exemplo

Considere que a corda de um violão tem comprimento igual a 0,6 m.

a. Qual é o comprimento de onda do harmônico fundamental?

O comprimento de onda do harmônico fundamental é dado por $\lambda_1 = 2L$, assim:

$$\lambda_1 = 2 \cdot 0{,}6 \text{ m} \therefore \lambda_1 = 1{,}2 \text{ m}$$

b. Qual é a frequência de vibração do harmônico fundamental, sabendo-se que a intensidade da velocidade de propagação da onda ao longo da corda é de 300 m/s?

A frequência de vibração do harmônico fundamental é dada por:

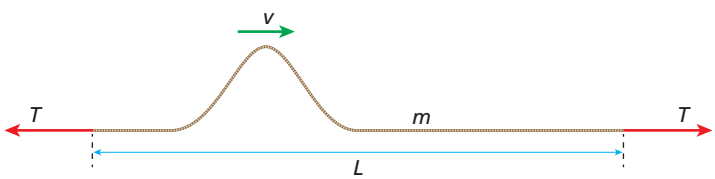
$$f_1 = \frac{v}{2L} \Rightarrow f_1 = \frac{v}{\lambda_1} \Rightarrow f_1 = \frac{300 \text{ m/s}}{1{,}2 \text{ m}} \therefore f_1 = 250 \text{ Hz}$$

Intensidade da velocidade de propagação de um pulso em uma corda

A intensidade da velocidade de propagação de um pulso (v) em uma corda tensa em função da intensidade da força de tração (T) e da densidade linear da corda (ρ) é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

Em que a densidade linear da corda é $\rho = \frac{m}{L}$; sendo L o comprimento da corda e m sua massa.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da propagação de um pulso em uma corda de comprimento L com velocidade de intensidade v.

Essa relação para a intensidade da velocidade de propagação de um pulso em uma corda foi proposta pelo matemático inglês Brook Taylor (1685-1731) e é conhecida como **fórmula de Taylor**.

Logo, substituindo a fórmula de Taylor na relação para a frequência de vibração de um harmônico de ordem n (f_n), tem-se:

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

Fique por dentro

Onda em corda

DUBSON, M. *et al*. Onda em corda. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2016. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 24 set. 2024.

Com esse simulador, você pode produzir ondas e pulsos em uma corda e observar como eles se propagam. Alterando os parâmetros amplitude, frequência, amortecimento e tensão, você poderá obter ondas diversas, inclusive ondas estacionárias, e verificar como a propagação delas varia com esses parâmetros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Instrumentos de sopro

Os instrumentos de sopro produzem som a partir do ar que sai dos pulmões e é direcionado para dentro de uma tubulação. Um dos instrumentos de sopro considerado mais fácil de aprender a tocar é a flauta doce (figura A), mas existem muitos outros, como o trompete, o saxofone, a tuba e a flauta de Pã (figura B).

ALEX DI/SHUTTERSTOCK

DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

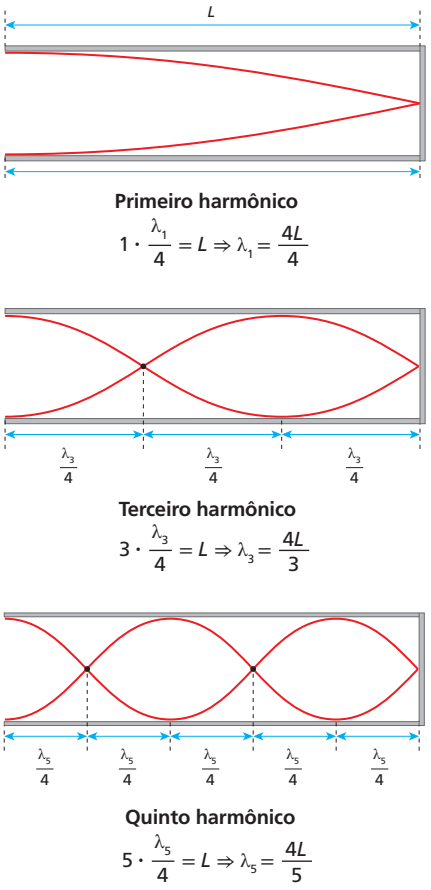
Exemplos de instrumentos de sopro: **(A)** flauta doce e **(B)** flauta de Pã feita com canudinhos de papel.

Fisicamente, os instrumentos de sopro são descritos como tubos sonoros. As ondas produzidas em seu interior se propagam ao longo do tubo e, de forma semelhante às cordas, produzem harmônicos ao longo de seu comprimento. Existem dois tipos de tubos sonoros: os **fechados** e os **abertos**.

Tubos sonoros fechados

Os tubos sonoros que têm uma de suas extremidades fechada são chamados de **tubos sonoros fechados**. Uma onda estacionária é formada pela vibração do ar no interior do tubo, por meio do sopro do instrumentista pela extremidade aberta, chamada de **bocal** ou **boquilha**. Diretamente na extremidade aberta do tubo, a onda forma um ventre e, na extremidade fechada, um nó.

Nas ilustrações a seguir, são mostrados os três primeiros modos de vibração (ondas estacionárias) em um tubo fechado de comprimento *L*.



Primeiro harmônico

$$1 \cdot \frac{\lambda_1}{4} = L \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4L}{4}$$

Terceiro harmônico

$$3 \cdot \frac{\lambda_3}{4} = L \Rightarrow \lambda_3 = \frac{4L}{3}$$

Quinto harmônico

$$5 \cdot \frac{\lambda_5}{4} = L \Rightarrow \lambda_5 = \frac{4L}{5}$$

Representação esquemática dos três primeiros harmônicos em um tubo sonoro fechado. (Cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Podemos generalizar para o caso de *n* harmônicos:

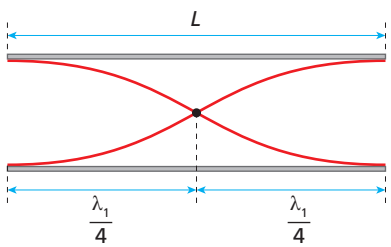
$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \left(\text{sendo } n = 1, 3, 5, 7, \ldots\right)$$

$$f_n = n \cdot \frac{v}{4L} \left(\text{sendo } n = 1, 3, 5, 7, \ldots\right)$$

Note que os tubos sonoros fechados só emitem harmônicos de ordem ímpar (1º, 3º, 5º, 7º, ...).

Tubos sonoros abertos

Tubos sonoros que têm as duas extremidades abertas são chamados de **tubos sonoros abertos**. Nos tubos abertos, ventres se formam nas duas extremidades. Nas ilustrações a seguir, são mostrados os três primeiros modos de vibração (ondas estacionárias) em um tubo aberto de comprimento *L*.



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Primeiro harmônico

$$2 \cdot \frac{\lambda_1}{4} = L \Rightarrow \lambda_1 = \frac{2L}{1}$$

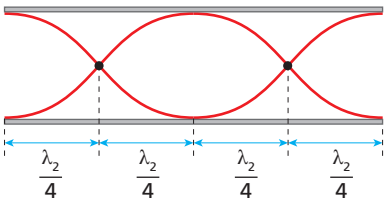
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Generalizando para o caso de n harmônicos:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \left(\text{sendo } n = 1, 2, 3, 4, \ldots\right)$$

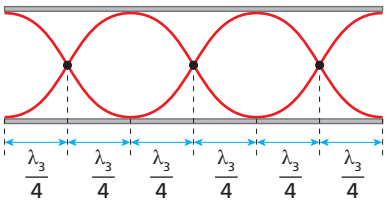
$$f_n = n \cdot \frac{v}{2L} \left(\text{sendo } n = 1, 2, 3, 4, \ldots\right)$$

Note que, como n (inteiro) não tem restrições, no tubo aberto obtêm-se frequências naturais de todos os harmônicos, de ordem par e de ordem ímpar.



Segundo harmônico

$$4 \cdot \frac{\lambda_2}{4} = L \Rightarrow \lambda_2 = \frac{2L}{2}$$



Terceiro harmônico

$$6 \cdot \frac{\lambda_3}{4} = L \Rightarrow \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

Representação esquemática dos três primeiros harmônicos em um tubo sonoro aberto. (Cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

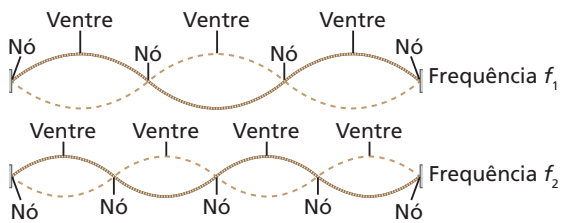
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

8. Ondas estacionárias são produzidas em duas cordas elásticas iguais e não absorvedoras de energia, de comprimento $L = 60$ cm, como indicam as ilustrações a seguir.



Representação esquemática de ondas estacionárias de frequências diferentes em cordas elásticas iguais.

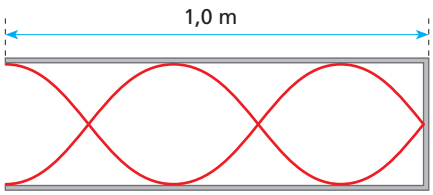
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

a. Qual é o comprimento de onda associado ao modo de vibração de frequência f_1? E ao modo de vibração de frequência f_2? 8. a. $\lambda_1 = 40$ cm; $\lambda_2 = 30$ cm

b. Qual é a relação entre f_1 e f_2? 8. b. $\frac{f_1}{f_2} = \frac{3}{4}$

c. Quanto mais elevada for a ordem do harmônico, mais agudo será o som? 8. c. Sim, pois f_n é diretamente proporcional a n.

9. A figura a seguir representa uma onda estacionária em um tubo sonoro fechado.



Representação esquemática de uma onda estacionária em um tubo sonoro fechado. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Considerando a intensidade da velocidade de propagação do som no ar igual a 340 m/s, determine:

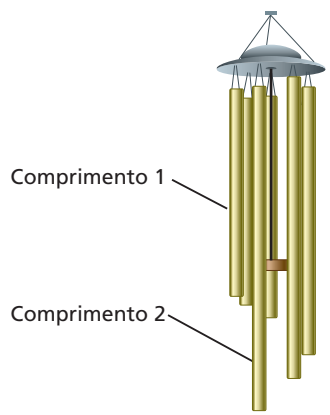
a. a ordem do harmônico representado; 9. a. 5º harmônico.

b. o comprimento de onda; 9. b. 0,8 m

c. a frequência correspondente a esse harmônico. 9. c. 425 Hz

10. (Enem) O sino dos ventos é composto por várias barras metálicas de mesmo material e espessura, mas de comprimentos diferentes, conforme a figura.

Considere f_1 e v_1, respectivamente, como a frequência fundamental e a velocidade de propagação do som emitido pela barra de menor comprimento, e f_2 e v_2 são essas mesmas grandezas para o som emitido pela barra de maior comprimento. As relações entre as frequências fundamentais e entre as velocidades de propagação são, respectivamente,



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

a. $f_1 < f_2$ e $v_1 < v_2$

b. $f_1 < f_2$ e $v_1 = v_2$

c. $f_1 < f_2$ e $v_1 > v_2$

d. $f_1 > f_2$ e $v_1 = v_2$

e. $f_1 > f_2$ e $v_1 > v_2$

10. Alternativa **d**.

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes busquem projetos relacionados à economia criativa na região onde moram e reflitam sobre suas aspirações, seu projeto de vida e as diferentes possibilidades de atuação no mercado de trabalho.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

TRABALHO E JUVENTUDES

Além dos saberes e fazeres: o impacto social e econômico da indústria criativa

ODS 8 ODS 10 ODS12 Em novembro de 2019 a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou 2021 como Ano Internacional da Economia Criativa para o Desenvolvimento Sustentável. A proposta reconhece a necessidade de promover um crescimento econômico inclusivo e sustentado, promover a inovação e oferecer oportunidades, benefícios e empoderamento para todos e respeito por todos os direitos humanos e a necessidade contínua de apoiar países em desenvolvimento e países com economias em transição para diversificar a produção e as exportações, inclusive em novas áreas de crescimento sustentável, inclusive indústrias criativas.

[...] A Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan), que elabora o Mapeamento da Indústria Criativa no Brasil, divide o setor em quatro grandes áreas: consumo (*design*, arquitetura, moda e publicidade & *marketing*), mídias (editorial e audiovisual), cultura (patrimônio e artes, música, artes cênicas e expressões culturais) e tecnologia (P&D, biotecnologia e TIC). [...] Acelerado pelas novas tecnologias na década passada, a economia criativa abriu espaço para a geração de novas ideias e comportamentos de criação e, consequentemente, para a forma de consumirmos produtos e serviços.

Hoje, o impacto da economia criativa na atividade econômica brasileira é extremamente relevante. O número de novos empregos é crescente: entre 2015 e 2017, cerca de 1,7 milhão de postos de trabalho tradicionais foram perdidos no país. Nesse mesmo período, mais de 25 mil novas vagas para dez profissões dentro da economia criativa foram criadas. [...]

Fonte: LOCONTE, L. Além dos saberes e fazeres: o impacto social e econômico da indústria criativa. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 72, n. 1, jan./mar. 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602020000100018. Acesso em: 26 set. 2024.

Um dos setores de maior crescimento no mundo é a economia criativa. De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios para 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil, a economia criativa é responsável por 3,11% do Produto Interno Bruto (PIB) e emprega cerca de 7,5 milhões de pessoas.

Abrangendo a música, o cinema, a moda, o *design*, a programação, a comunicação digital e a biotecnologia, por exemplo, esse é um setor que tem se tornado cada vez mais atrativo para os jovens, por oferecer oportunidades de emprego que valorizam a inovação, a criatividade e incentivam a diversidade cultural, e por permitir que os jovens explorem suas paixões e talentos.

Muitos projetos e iniciativas relacionados à economia criativa propõem a inclusão social de jovens e de comunidades vulneráveis, oferecendo cursos e oficinas de formação e capacitação gratuitos, possibilitando aos jovens a criação de uma fonte de renda.

Valorizando o trabalho manual, o consumo consciente e a economia local, além de contribuir para a redução das desigualdades, a economia criativa contribui para o desenvolvimento sustentável.

1. Você conhece projetos de economia criativa no município ou na região onde mora? Se não conhece, pesquise projetos com esse objetivo. Você já pensou em fazer parte de algum deles?
2. Leia o texto a seguir.

> [...]
>
> Desde [2022], está tramitando no Congresso Nacional o Projeto de Lei 2.732/2022 que cria a Política Nacional de Desenvolvimento da Economia Criativa. O projeto prevê, entre outras medidas, parceria entre empresas e universidades para qualificação profissional; desenvolvimento de infraestrutura para as dinâmicas econômicas dos setores criativos; promoção e fortalecimento de ecossistemas de inovação em territórios criativos para o desenvolvimento local e regional.
>
> [...]
>
> **Fonte**: GANDRA, A. Economia criativa vai gerar 1 milhão de empregos até 2030. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 1 set. 2023. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-09/economia-criativa-vai-gerar-mais-1-milhao-de-empregos-ate-2030. Acesso em: 26 set. 2024.

Você considera que parcerias entre o setor público e o setor privado, projetos sociais, cursos e oficinas gratuitos são importantes para a capacitação dos jovens, para a qualificação profissional e para o desenvolvimento econômico e social?

3. Além das habilidades técnicas específicas, como as áreas da economia criativa podem ajudar os jovens a desenvolver competências socioemocionais, habilidades de comunicação, resolução de problemas e trabalho em equipe?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

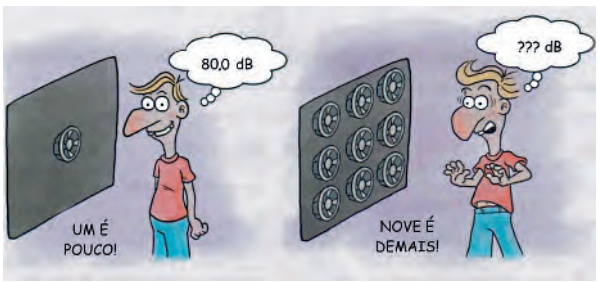
2. Espera-se que os estudantes reflitam sobre como as parcerias possibilitam aos jovens o desenvolvimento de habilidades técnicas para a inserção no mercado de trabalho.
3. As diferentes áreas da economia criativa possibilitam aos jovens que expressem sua criatividade. Os projetos relacionados estimulam a autonomia, promovem o desenvolvimento da empatia, autoconfiança e autoconhecimento.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. O maestro Dias Pazão se orgulha de seu ouvido absoluto, capaz de detectar com perfeição todo o espectro sonoro nas mais sutis intensidades. Caminhando frontalmente rumo a um alto-falante que emitia isotropicamente sem dissipação um som de uma única frequência com intensidade constante, ele ouviu, a um metro do alto-falante, o som com um nível relativo de intensidade igual a 80,0 dB. Em seguida, com o maestro ainda a um metro de distância, a estrutura com um alto-falante foi substituída por outra com nove alto-falantes idênticos ao primeiro, emitindo cada um som igual ao do alto-falante inicial.

ARQUIVO DO AUTOR



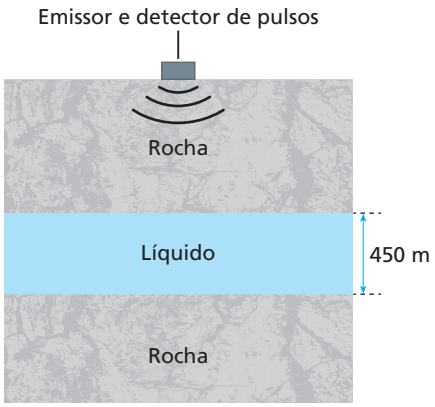
Com base nessas informações e sabendo-se que log (9) ≃ 0,95, calcule o nível relativo de intensidade sonora, em dB, percebido pelo maestro em sua posição com os nove alto-falantes em operação. 1. 89,5 dB

2. José Paulino realizou seu grande sonho de conhecer algumas montanhas dos Andes argentinos: Cerro Tronador (3.354 m de altitude), Cerro Catedral e Cerro López, na região de San Carlos de Bariloche. Em um dos dias de sua viagem, colocou-se a uma distância d de um grande penhasco vertical e passou a bater palmas com frequência constante igual a 0,40 Hz. Ele notou que, transcorrido um intervalo de tempo Δt do início de sua ação, cada vez que batia as mãos, recebia o eco correspondente à batida de mãos imediatamente anterior. Admitindo-se que o som se propagou isotropicamente e sem dissipações no ar local com velocidade de intensidade 340 m/s, determine:

a. o valor de Δt; 2. a. $\Delta t = 2{,}5$ s

b. o valor de d. 2. b. $d = 425$ m

3. (Enem) O petróleo é uma matéria-prima muito valiosa e métodos geofísicos são úteis na sua prospecção. É possível identificar a composição de materiais estratificados medindo-se a velocidade de propagação do som (onda mecânica) através deles. Considere que uma camada de 450 m de um líquido se encontra presa no subsolo entre duas camadas rochosas, conforme o esquema. Um pulso acústico (que gera uma vibração mecânica) é emitido a partir da superfície do solo, onde são posteriormente recebidas duas vibrações refletidas (ecos). A primeira corresponde à reflexão do pulso na interface superior do líquido com a camada rochosa. A segunda vibração deve-se à reflexão do pulso na interface inferior. O tempo entre a emissão do pulso e a chegada do primeiro eco é de 0,5 s. O segundo eco chega 1,1 s após a emissão do pulso.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

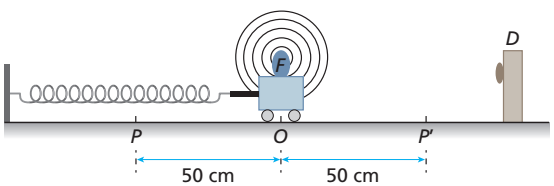
A velocidade do som na camada líquida, em metro por segundo, é

a. 270 **c.** 818 **e.** 1.800

b. 540 **d.** 1.500

3. Alternativa **d**.

4. Na situação esquematizada a seguir, uma fonte sonora F de frequência constante igual a 1.020 Hz oscila harmonicamente (MHS) sobre um plano horizontal com período $T = \frac{\pi}{20}$ s. A posição O é o ponto de equilíbrio do sistema e P e P' são os locais em que ocorre inversão no sentido do movimento.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte sonora oscilando em MHS entre os pontos P e P'. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Um detector sonoro D, fixo na posição indicada, registra a frequência acústica f_D percebida nesse local para o sinal vindo de F. Admitindo-se que o som se propaga no ar ambiente com velocidade de intensidade 320 m/s, determine:

a. a intensidade da máxima velocidade da fonte sonora, $v_{máx.}$, em relação ao detector D; 4. a. $v_{máx.} = 20$ m/s

b. o intervalo de valores possíveis para f_D. 4. b. $f_{D_{min.}} = 960$ Hz; $f_{D_{máx.}} = 1.088$ Hz

5. Arthur é um músico virtuoso e, em determinado instante, toca uma das cordas de seu baixo elétrico, de comprimento $L = 120$ cm e massa $m = 80$ g, que vibra em toda a sua extensão.

Sabendo-se que a intensidade da força de tração nessa corda é $T = 240$ N, determine:

a. a intensidade da velocidade de propagação dos pulsos que transitam ao longo da corda; 5. a. 60 m/s

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7. Espera-se que os estudantes conheçam um pouco mais sobre a cultura musical dos povos indígenas brasileiros e que relacionem os instrumentos musicais de sopro e de cordas estudados neste capítulo com a música, o folclore e as tradições culturais locais.

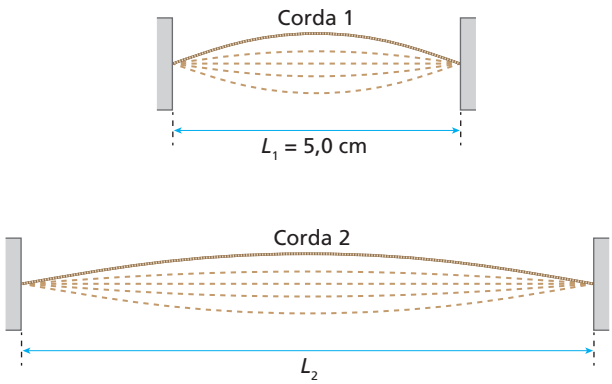
b. a frequência do som correspondente ao 4º harmônico formado nessa corda. 5. b. 100 Hz

6. (Unesp-SP) Nos instrumentos musicais de corda, as cordas apresentam diferentes espessuras e diferentes densidades lineares de massa para que aquelas que emitem sons mais graves não precisem ser muito longas, o que inviabilizaria a construção do instrumento.

YARN/E+/GETTY IMAGES

Detalhes das cordas de um violoncelo.

Para ilustrar o fato de que cordas que emitem sons mais graves precisariam ser muito longas, considere duas cordas, 1 e 2, ambas com extremidades fixas, que apresentem espessuras iguais, mesma densidade linear de massa e que estejam submetidas à mesma força de tração.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Quando essas cordas vibram em seus modos fundamentais, a frequência da onda sonora emitida pela corda 1 é 150 vezes maior do que a frequência da onda sonora emitida pela corda 2. Sabendo que a corda 1 mede $L_1 = 5{,}0$ cm, o comprimento L_2 da corda 2 deve ser de:

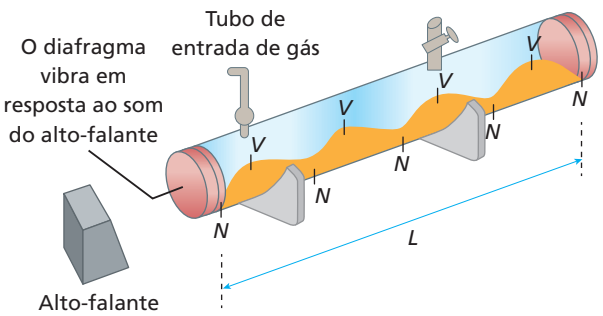
a. 7,5 m. 6. Alternativa **a**.
b. 8,0 m.
c. 5,0 m.
d. 2,5 m.
e. 1,5 m.

7. Flautas de Pã recebem essa denominação em alusão ao deus Pã da mitologia grega, divindade associada aos bosques, campos, rebanhos e pastores de ovinos e caprinos. Esses instrumentos estão presentes em muitas culturas, como a grega, a romena e a andina. Em países como Argentina, Chile, Bolívia, Peru e Equador, recebem também as denominações *sikus* ou *zampoñas*, tendo importante papel na música e folclore locais.

a. Pesquise as flautas utilizadas por alguns dos povos indígenas brasileiros e em que ocasiões esses instrumentos são utilizados.

b. Pesquise os instrumentos musicais de cordas e de sopro relacionados às tradições culturais da região em que você mora.

8. O aparato experimental representado a seguir denomina-se tubo de Kundt e, entre outras funções, se presta à determinação da intensidade da velocidade do som em um meio gasoso. Dentro de um tubo fechado nas duas extremidades, são espalhados minúsculos fragmentos de cortiça (ou isopor). Um alto-falante emissor de um som de uma frequência única é posto em operação junto a um diafragma em uma das extremidades desse tubo. Isso perturba o gás contido no recipiente, o que propicia a formação de uma onda estacionária constituída de nós (N) e ventres (V). A presença dessa onda pode ser notada porque os fragmentos de cortiça se aglomeram de maneira organizada, demarcando as posições das regiões nodais e ventrais.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do tubo de Kundt. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No caso esquematizado anteriormente, o tubo tem comprimento útil L e foi preenchido com dióxido de carbono (CO_2) à temperatura de 18 °C e pressão de 0,8 atm. Tendo sido ajustada a frequência do som emitido pelo alto-falante em $f = 1{,}0$ kHz, determinou-se a distância regular entre duas regiões ventrais consecutivas, encontrando-se $C = 12{,}5$ cm. Com base nessas informações, obtenha:

a. o valor de L; 8. a. $L = 0{,}50$ m = 50 cm

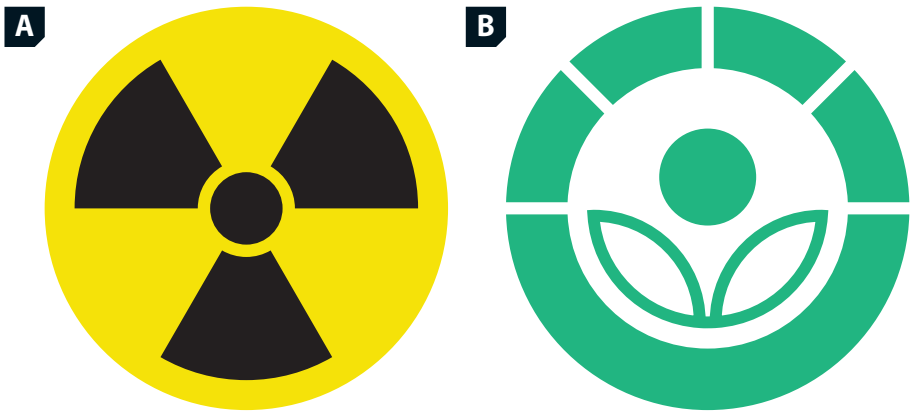
b. a intensidade v da velocidade do som dentro do tubo preenchido com CO_2. 8. b. $v = 250$ m/s

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 20

Radioatividade

Você conhece os símbolos a seguir e sabe o que eles representam?



ILUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Símbolo trifólio.

(B) Símbolo radura.

O símbolo trifólio (figura A), reconhecido internacionalmente, indica a presença de material radioativo e de radiação ionizante, que coloca a saúde humana em risco. O símbolo radura (figura B) indica um alimento tratado por radiação. É evidente que, se encontrarmos uma porta ou uma caixa com o trifólio, estaremos diante de algo potencialmente perigoso. No caso do símbolo radura, representa algo totalmente seguro, já que alimentos tratados por radiação não são, em si, radioativos e podem ser consumidos – inclusive, o controle dessa atividade é feito, no Brasil, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). De acordo com a legislação, esses símbolos precisam ser utilizados para indicar a presença de radiação ionizante ou material radioativo (trifólio) e produtos irradiados (radura). Mas o que são radiação e radioatividade?

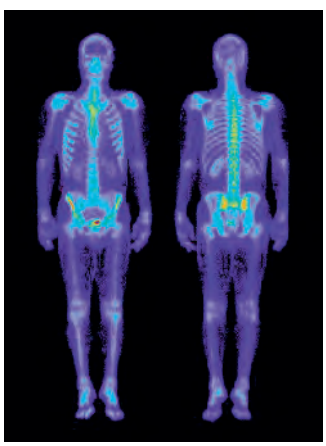
Neste capítulo, vamos estudar o conceito de radioatividade, os processos de fusão e fissão nuclear e os decaimentos radioativos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Introdução à radioatividade

Radiação é a propagação de energia entre dois pontos que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas ou partículas em movimento. O processo recebe esse nome porque a radiação se propaga de forma radial, isto é, partindo do centro. Quando um material emite radiação de forma espontânea, dizemos que ele apresenta **radioatividade**. A radioatividade envolve basicamente a emissão de partículas ou radiação por átomos instáveis.

Apesar de ser um fenômeno natural, a radioatividade também pode ser induzida artificialmente, e seu uso controlado tem diversas aplicações, por exemplo, na datação de materiais, na conservação de alimentos e na medicina diagnóstica. Em exames de cintilografia óssea, por exemplo, um composto contendo material radioativo é injetado ou ingerido pelo paciente e se acumula em órgãos ou tecidos específicos, neste caso, os ossos, emitindo radiação gama. Os raios gama são detectados por uma câmera especial, que produz uma imagem detalhada do tecido em questão, como mostra a figura, possibilitando o diagnóstico de doenças como artrite e a busca por tumores no esqueleto.



RVI MEDICAL PHYSICS, NEWCASTLE/SIMON FRASER/ SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA

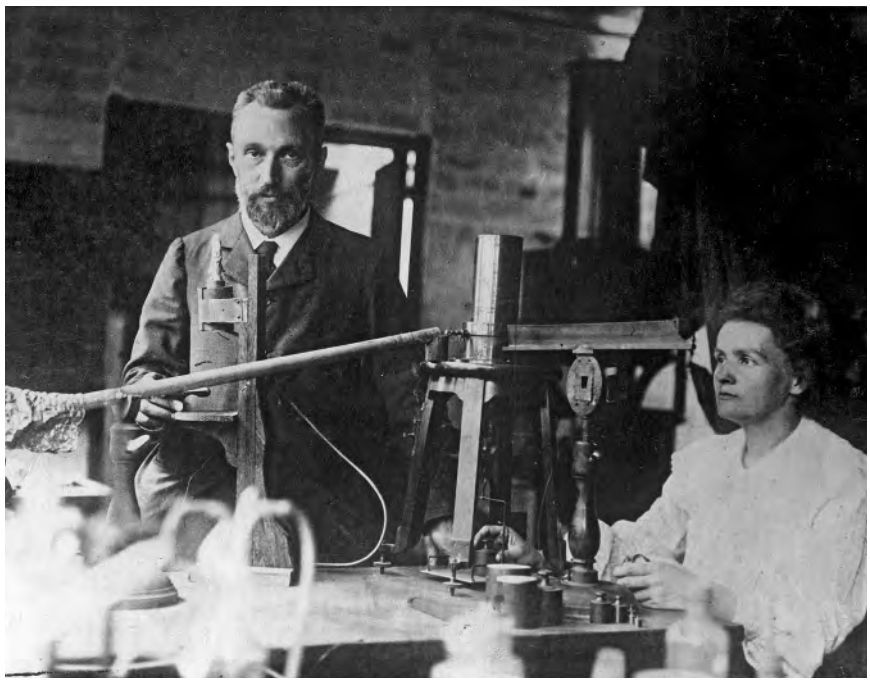
Imagens de um esqueleto humano saudável obtidas em um exame de cintilografia óssea. (Cores-fantasia.)

O início dos estudos sobre a radioatividade se deu com o físico francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908). Em 1896, Becquerel realizou experimentos para investigar a capacidade de uma substância emitir luz quando exposta à radiação eletromagnética. Suas investigações envolviam a fosforescência e a fluorescência. A diferença básica entre esses dois processos é o intervalo de tempo entre a exposição e a emissão. No caso da fosforescência, o intervalo de tempo é maior que 10^{-8} s; para a fluorescência, o intervalo é menor que 10^{-8} s. Em sua pesquisa, Becquerel usou cristais de sulfato duplo de urânio e potássio e percebeu que esses cristais emitiam radiação mesmo sem exposição à luz, ou seja, espontaneamente.

Posteriormente, os químicos franceses Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) continuaram esses estudos e obtiveram importantes resultados, como a detecção de dois novos elementos químicos que também emitiam radiação, batizados de polônio (Po) e rádio (Ra).

Os estudos pioneiros da radioatividade renderam a Antoine Henri Becquerel, Marie Curie e Pierre Curie o Prêmio Nobel de Física em 1903.

PHOTO 12/UNIVERSAL IMAGES GROUP EDITORIAL/GETTY IMAGES



Pierre Curie e Marie Skłodowska-Curie no laboratório, demonstrando o aparato experimental que permitiu a descoberta do rádio (1904).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Força nuclear

Para entendermos a natureza da radioatividade, é preciso compreender a estrutura do núcleo de um átomo. Ele é formado por dois tipos de partícula: os prótons, que têm carga elétrica positiva, e os nêutrons, que não têm carga elétrica. Essas duas partículas são denominadas **núcleons** e mantêm-se unidas no núcleo por causa da **força nuclear forte**, que tem um alcance da ordem de 10^{-15} m (ordem do diâmetro do núcleo atômico). A força nuclear forte recebe esse nome porque, em geral, sua intensidade é maior do que a repulsão coulombiana (força elétrica) entre os prótons. É a interação entre os núcleons que, por meio da força forte, mantém o núcleo coeso. A força nuclear forte é também responsável por manter unidas as partículas denominadas *quarks*. Os *quarks* são partículas elementares que formam os prótons e nêutrons.

Há ainda uma segunda força, conhecida como **força nuclear fraca**, que explica os processos de emissão de radiação, quando há a transformação de um próton em um nêutron ou de um nêutron em um próton. Esse processo de transformação ocorre no chamado decaimento beta, como veremos adiante.

Para identificar o núcleo de um elemento, são usados três números: o número de prótons, ou número atômico (Z), o número de nêutrons (N) e o número de massa (A). O número de massa é dado pela soma dos números de prótons e de nêutrons ($A = Z + N$). Na notação que identifica um elemento químico X qualquer, representamos A e Z da seguinte maneira: ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Há casos de elementos com números atômicos iguais, mas números de massa diferentes. Esses elementos são denominados **isótopos**. O hidrogênio, por exemplo, tem três isótopos:

- $^{1}_{1}H$ é o hidrogênio. Seu núcleo tem um próton e número de massa 1;
- $^{2}_{1}H$ é o deutério. Seu núcleo tem um próton e um nêutron e número de massa 2;
- $^{3}_{1}H$ é o trítio. Seu núcleo tem um próton e dois nêutrons, com número de massa 3.

Assim como podem apresentar números atômicos iguais, os elementos também podem ter números de massa iguais. Esses elementos são chamados de **isóbaros**. São exemplos $^{14}_{6}C$ e $^{14}_{17}N$.

Sobre o formato dos núcleos atômicos, podemos considerá-los aproximadamente esféricos. Dessa forma, seus raios podem ser calculados, com razoável precisão, pela seguinte fórmula:

$$r = r_0 \cdot \sqrt[3]{A}$$

Em que r_0 é uma constante igual a 1,2 femtômetro (fm) ou $1{,}2 \cdot 10^{-15}$ m.

Exemplo

Considere o elemento $^{60}_{27}Co$ (cobalto-60), muito utilizado em um processo de conservação de alimentos conhecido como irradiação.

a. Quais são seus números de massa, de prótons e de nêutrons?

O número de massa A e o número de prótons Z podem ser obtidos apenas verificando a representação do elemento $^{60}_{27}Co$. A notação que identifica um elemento químico X qualquer é dada por $^{A}_{Z}X$, logo, para o cobalto-60:

$$A = 60 \text{ e } Z = 27$$

O número de nêutrons N é dado por:

$$A = Z + N \Rightarrow 60 = 27 + N \Rightarrow N = 60 - 27 \therefore N = 33$$

b. Qual é o valor do raio do seu núcleo?

O raio do núcleo pode ser calculado pela fórmula:

$$r = r_0 \cdot \sqrt[3]{A} \Rightarrow r = 1{,}2 \cdot \sqrt[3]{60} \therefore r \simeq 5 \text{ fm}$$

Energia de ligação nuclear

As massas dos prótons e dos nêutrons têm valores muito próximos, mas diferem bastante da massa do elétron. A tabela a seguir apresenta as massas dos constituintes de um átomo, em unidades de massa atômica ($1 \text{ u} = 1{,}66054 \cdot 10^{-27}$ kg).

Massas do próton, do nêutron e do elétron

Partícula	Massa (u)
Próton	1,007276
Nêutron	1,008665
Elétron	$5{,}4858 \cdot 10^{-4}$

Fonte: elaborado com base em TIESINGA, E. *et al*. Codata recommended values of the fundamental physical constants: 2018. **Reviews of Modern Physics**, [*S. l.*], v. 93, p. 025010, 30 jun. 2021.

Valores das massas dos constituintes de um átomo, em unidades de massa atômica (u).

Desse modo, podemos calcular a massa do núcleo de um átomo com Z prótons e N nêutrons como:

$$M_{\text{núcleo}} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

Sendo m_p a massa do próton e m_n a massa do nêutron.

Para o caso do $^{60}_{27}Co$, temos:

$$M_{\text{núcleo}} = 27 \cdot 1{,}007276 \text{ u} + 33 \cdot 1{,}008665 \text{ u} \therefore M_{\text{núcleo}} = 60{,}482397 \text{ u}$$

Comparando-se o resultado obtido com o de uma tabela de massas nucleares (em que o valor da massa de cobalto é de 59,9338 u), existe uma diferença menor do que 1%.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Isso acontece porque não foi incluída a energia de ligação do núcleo. Essa energia pode ser calculada por uma equação de conversão, pois é equivalente à massa.

A energia de ligação nuclear é calculada pela chamada **fórmula de equivalência massa-energia**, apresentada pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955).

$$E_{\text{ligação}} = \Delta m \cdot c^2$$

Em que Δm é a diferença entre a soma das massas dos núcleons (prótons e nêutrons) e a massa M do núcleo formado, e c é a velocidade da luz no vácuo (299.792.458 m/s $\simeq 3 \cdot 10^8$ m/s).

Assim, podemos calcular a energia de ligação média por núcleon de um núcleo atômico de massa M, em função do número de prótons Z, de nêutrons N e de suas massas m_p e m_n. Considerando a fórmula de equivalência massa-energia, temos:

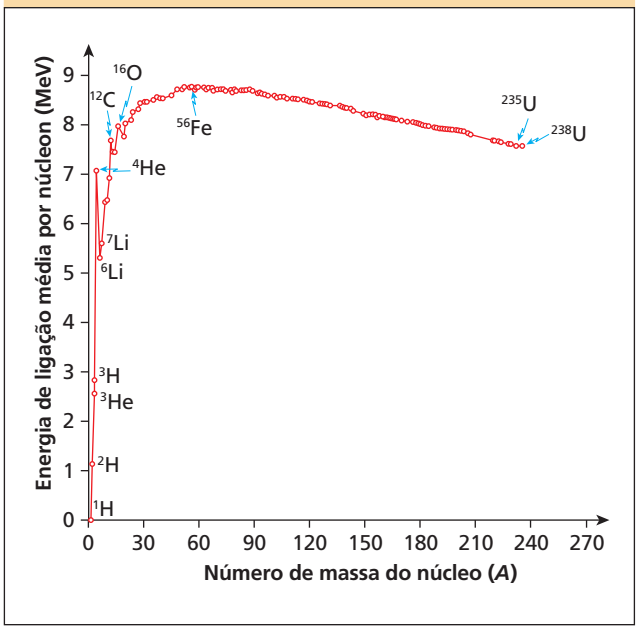
$$E_{\text{ligação}} = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M) \cdot c^2$$

Para obtermos a energia de ligação média por núcleon, devemos dividir a energia de ligação pelo número de prótons Z e nêutrons N no núcleo. Portanto:

$$E_{\text{ligação por núcleon}} = \frac{(Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M) \cdot c^2}{Z + N}$$

A energia de ligação nuclear média por núcleon em função do número de massa do núcleo está representada no gráfico a seguir, no qual a maior energia de ligação média é 8,79 MeV, que corresponde ao $^{56}_{26}$Fe; portanto, esse é o núcleo mais estável conhecido.

Energia de ligação média por núcleon



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

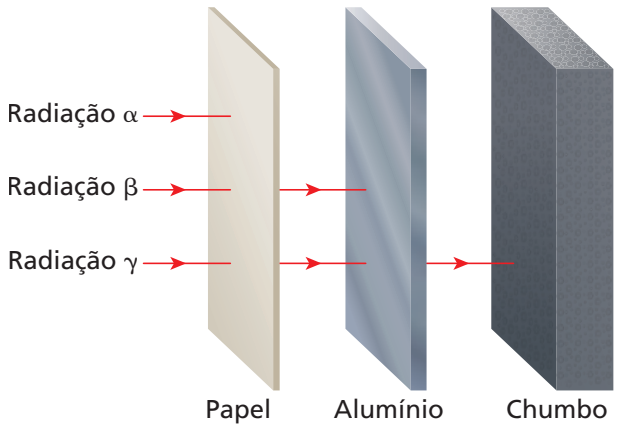
Fonte: elaborado com base em BLEAM, W. **Soil and Environmental Chemistry**. 2. ed. Cambridge: Academic Press, 2017.

Representação gráfica da variação da energia de ligação por núcleon em função do número de massa do núcleo.

Decaimento radioativo

O físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) foi um dos pioneiros no estudo da radioatividade e identificou a emissão de radiação como resultado da desintegração de núcleos atômicos instáveis. Rutherford verificou três tipos de emissão, denominados **radiação alfa** (α), **beta** (β) e **gama** (γ).

Essas radiações têm distintos poderes de penetração, ou seja, atravessam os materiais de formas diferentes. A radiação alfa apresenta baixo poder de penetração, sendo que uma folha de papel pode barrá-la. Já a radiação beta é mais penetrante que a alfa, e é necessária uma folha de alumínio para barrá-la. A radiação gama é a mais penetrante de todas, e para barrá-la são necessários alguns centímetros de chumbo, dependendo da energia da radiação.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

As radiações alfa, beta e gama têm diferentes poderes de penetração. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Alguns detectores de fumaça utilizam a radiação do amerício-241 ($^{241}_{95}$Am), que espontaneamente emite partículas formadas por dois prótons e dois nêutrons (assim como o núcleo do hélio). Essas partículas são chamadas de **partículas alfa**. Na prática, o detector mede o número de partículas alfa que saem da amostra de amerício. Na presença de fumaça, a contagem de partículas alfa no detector diminui.

Um processo como esse, no qual ocorre a emissão espontânea de uma partícula alfa de um núcleo, é chamado de **decaimento alfa**, que pode ser representado como:

$$^{A}_{Z}X + {}^{A-4}_{Z-2}Y \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha$$

Nessa equação, X é o elemento original, também chamado de elemento pai, e Y o elemento resultante após o decaimento, também chamado de elemento filho. E $^{A}_{Z}X$ denota um **nuclídeo**, que é um átomo com número atômico (Z) e número de massa (A) bem definidos. Note que as partículas alfa ($^{4}_{2}\alpha$) são núcleos de hélio (He) e podem ser representadas por $^{4}_{2}$He.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se uma partícula alfa se choca com um núcleo de $^{9}_{4}Be$, resultando em um núcleo de carbono mais um nêutron, como representar a reação ocorrida?

Representando a partícula alfa por $^{4}_{2}He$, a reação é dada por:

$$^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

Um dos nuclídeos utilizados na conservação de alimentos é o cobalto-60. Com 27 prótons e 33 nêutrons, o cobalto-60 passa por uma transformação diferente do decaimento alfa. Nessa transformação, o número de massa se mantém, mas a carga total do núcleo (logo, o número atômico) se altera: o núcleo do cobalto-60 decai em um núcleo de níquel (Ni) com 28 prótons e 32 nêutrons e, como fruto dessa transformação, duas partículas são emitidas, como veremos a seguir. Na prática, nessa diferente transformação, o *quark* que compõe um dos prótons muda de estado e passa a se apresentar como um nêutron.

Esse é um exemplo do chamado **decaimento beta**, no qual a composição de prótons e nêutrons do núcleo se modifica, ou seja, a carga elétrica aumenta ou diminui, pois há emissão de elétron (β^-) ou pósitron (β^+). O pósitron é uma partícula idêntica ao elétron, com exceção de sua carga elétrica, que é positiva.

O pósitron ou o elétron emitido durante o decaimento beta são chamados de partículas beta. Dessa forma, no decaimento beta, o núcleo mantém seu número de massa, mas o número atômico aumenta ou diminui em uma unidade. Esse decaimento pode ser representado por:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{z+1}Y + \beta^- + \bar{\nu}$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{z-1}Y + \beta^+ + \nu$$

Os símbolos ν e $\bar{\nu}$ representam um neutrino e um antineutrino, respectivamente. Um neutrino é uma partícula de massa muito pequena e sem carga elétrica. O antineutrino é a antipartícula do neutrino, sendo que as antipartículas constituem a chamada antimatéria. Essas partículas participam conservando a energia e a quantidade de movimento do processo de decaimento.

Quando ocorre o decaimento alfa ou beta, ou seja, quando o núcleo emite uma partícula alfa ou beta, o elemento se transforma em outro. Esse processo chama-se **transmutação**.

Durante o decaimento beta do cobalto-60, descrito no exemplo anterior, não ocorre emissão de energia apenas por meio das partículas, pois radiação eletromagnética é emitida ao mesmo tempo.

Além dos decaimentos descritos anteriormente, podemos ter o chamado **decaimento gama**, que ocorre quando o núcleo emite um fóton de alta energia associado à mudança de energia do núcleo entre dois estados. A radiação emitida nesse decaimento é chamada de **radiação gama**. O decaimento gama pode ser representado como:

$$^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

Nessa equação, $^{A}_{Z}X^{*}$ indica que o núcleo está em um estado de maior energia que $^{A}_{Z}X$. Esse estado de maior energia é comumente denominado **estado excitado**. Nesse processo de decaimento, não ocorre a transformação de um elemento em outro; por isso, o decaimento gama não é um processo de transmutação.

Radiações ionizantes

Quando um átomo perde elétron, ele se transforma em uma partícula carregada, chamada íon positivo ou cátion. Quando um átomo ganha elétron, ele se transforma em uma partícula carregada, chamada íon negativo ou ânion. Quando uma radiação, atravessando um meio, tem a capacidade de transformar os átomos do meio em íons, diz-se que é uma radiação ionizante.

Como exemplos de radiações ionizantes, temos: partículas carregadas (partículas beta, partículas alfa, prótons); partículas neutras (nêutrons); ondas eletromagnéticas (raios γ, raios X).

Nos seres vivos, esse processo de ionização pode causar danos celulares e genéticos significativos, uma vez que a remoção de elétrons dos átomos e das moléculas pode alterar a estrutura e a função de ambos. Isso pode levar a uma ampla série de efeitos negativos para os seres vivos, incluindo o desenvolvimento de doenças e mutações genéticas.

Existem várias fontes naturais e artificiais de radiações ionizantes. As fontes naturais incluem a radiação cósmica proveniente do espaço exterior, radiação proveniente do solo e de materiais radioativos presentes na crosta terrestre, como urânio e tório.

As fontes artificiais de radiação ionizante são amplamente utilizadas na Medicina, indústria e pesquisa científica. Os raios X, por exemplo, são usados para diagnóstico médico e terapia, enquanto os isótopos radioativos são empregados em tratamentos de câncer e em exames de Medicina nuclear. Na indústria, as radiações ionizantes podem ser usadas para esterilizar alimentos e diagnosticar defeitos de construção em estruturas.

Apesar de sua utilidade, a exposição excessiva ou descontrolada às radiações ionizantes pode ser prejudicial à saúde. Por isso, medidas de proteção, monitoramento da exposição e regulamentações rigorosas são aplicadas em ambientes onde esse tipo de radiação está presente. As doses de radiação devem ser mantidas dentro de níveis seguros para minimizar os riscos à saúde humana. No Brasil, o órgão responsável por essa regulação é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. A energia de ligação nuclear é dada pela diferença entre a soma das massas dos núcleons que compõem um átomo e o valor indicado em uma tabela de massas nucleares. Ela está associada à energia de ligação entre os prótons e nêutrons dentro do núcleo do átomo. Esse valor pode ser mensurado como parte da massa do átomo por causa da propriedade da equivalência entre massa e energia. Essa energia é a responsável por garantir uma estabilidade para o núcleo atômico.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Explique, sucintamente, o que é a energia de ligação nuclear e qual a relação existente entre a energia de ligação nuclear e a estabilidade de um núcleo atômico.
2. Explique o que é radioatividade e descreva as emissões de radiação alfa (α), beta (β) e gama (γ).
3. O amerício é um elemento químico sintético de símbolo Am e número atômico 95. Ele é usado principalmente em pesquisa científica, tratamento de tumores e tem algumas aplicações industriais. Alguns modelos de detector de incêndio contêm uma pequena quantidade de amerício-241 ($^{241}_{95}$Am), que libera radiação capaz de ionizar o ar dentro do aparelho, tornando-o condutor de corrente elétrica. O alarme é disparado quando a fumaça produzida no incêndio entra no dispositivo e interrompe a condução de corrente elétrica. 3. Radiação alfa ($^{4}_{2}\alpha$)

   A equação de desintegração do amerício-241 é fornecida a seguir.

   $$^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + \text{radiação } z$$

   Na equação fornecida, a radiação *z* corresponde a que tipo de radiação ionizante?
4. Dê exemplos de fontes naturais e artificiais de radiações ionizantes e descreva alguns dos efeitos dessas radiações no corpo humano e algumas de suas aplicações tecnológicas.

2. A radioatividade é a propriedade de certos elementos químicos de emitirem partículas (como elétrons) ou ondas (como raios gama) de forma espontânea e contínua, devido à instabilidade de seus núcleos atômicos. A radiação α consiste na emissão espontânea de uma partícula composta de dois prótons e dois nêutrons, ou seja, um núcleo de hélio (He). A radiação β consiste na emissão de um pósitron ou elétron. A radiação γ consiste na emissão de um fóton de alta energia, que resulta na mudança de energia do núcleo emissor entre dois estados.

4. As fontes naturais incluem a radiação cósmica proveniente do espaço exterior, radiação proveniente do solo e de materiais radioativos presentes na crosta terrestre, como urânio e tório. As fontes artificiais incluem o uso de raios X em diagnóstico médico e terapia, isótopos radioativos utilizados em tratamentos de câncer e em exames de medicina nuclear e as radiações utilizadas na indústria para esterilizar alimentos.

Radioisótopos e meia-vida

Os núcleos instáveis, também chamados de núcleos radioativos, podem ser encontrados na natureza ou produzidos em laboratórios ou usinas nucleares por reações nucleares. Na natureza, o urânio natural apresenta-se como uma mistura de dois isótopos ($^{238}_{92}$U e $^{235}_{92}$U), e a maior parte é $^{238}_{92}$U. Como estudamos anteriormente, isótopos são nuclídeos que têm mesmo número de prótons, mas número diferente de nêutrons. Os isótopos com um núcleo instável, que emite radiação, denominam-se **radioisótopos**.

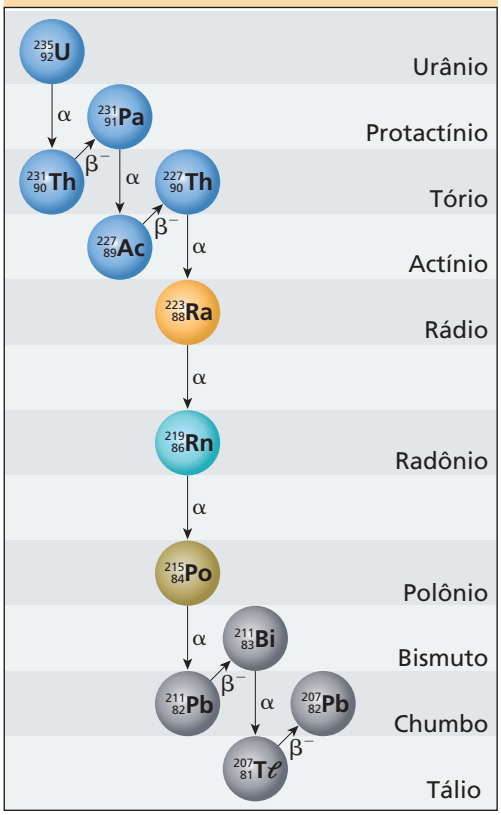
O elemento $^{235}_{92}$U, por exemplo, vai passar por sucessivos decaimentos alfa e beta, ou seja, vai se transmutar até o chumbo $^{207}_{82}$Pb, que é um elemento estável e não radioativo.

Além de ser encontrado naturalmente, um radioisótopo pode ser produzido de forma artificial. Estudos envolvendo radioisótopos artificiais tiveram início com a química francesa Irène Joliot-Curie (1897-1956), filha de Marie Curie e Pierre Curie, e seu marido, o físico francês Frédéric Joliot-Curie (1900-1958). O casal produziu artificialmente, em 1934, os elementos fósforo-30 ($^{30}_{15}$P) e nitrogênio-13 ($^{13}_{7}$N), fazendo com que partículas alfa atingissem os núcleos dos elementos alumínio-27 ($^{27}_{13}$Aℓ) e boro-10 ($^{10}_{5}$B), respectivamente, processo conhecido como bombardeamento por partículas alfa. Esse processo de produção de $^{30}_{15}$P e $^{13}_{7}$N pode ser descrito como:

$$^{27}_{13}\text{Aℓ} + {}^{4}_{2}\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^{1}_{0}\text{n}$$

$$^{10}_{5}\text{B} + {}^{4}_{2}\text{He} \rightarrow {}^{13}_{7}\text{N} + {}^{1}_{0}\text{n}$$

Decaimento radioativo do $^{235}_{92}$U



Fonte: elaborado com base em RADIOLOGICAL and Chemical Properties of Uranium. **Oak Ridge Institute for Science and Education**, [*S. l.*, 20--]. Disponível em: https://www.nrc.gov/docs/ML1122/ML11227A233.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

Representação esquemática do decaimento radioativo do 92 235 U.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Por sua vez, os radioisótopos artificiais $^{30}_{15}P$ e $^{13}_{7}N$ decaem em $^{30}_{14}Si$ e $^{13}_{6}C$, respectivamente.

Note que um radioisótopo passa por decaimentos até alcançar a estabilidade. No caso do urânio (U), ele se transmuta até o chumbo (Pb). Nesse processo, o tempo é um importante fator a ser levado em conta. Pode-se considerar o intervalo de tempo no qual o número de núcleos da amostra radioativa cai pela metade. Esse intervalo de tempo é denominado **meia-vida** e pode ser simbolizado por $t_{1/2}$ ou P. A meia-vida também é denominada período de semidesintegração.

O $^{238}_{92}U$, por exemplo, tem meia-vida extremamente longa, cerca de 4,5 bilhões de anos. Já o $^{235}_{92}U$ tem meia-vida de 703,8 milhões de anos, sendo, portanto, mais instável que o $^{238}_{92}U$. Outros elementos têm meia-vida significativamente mais curta, como o radônio-222 ($^{222}_{86}Rn$), formado após o decaimento do rádio-226 ($^{226}_{88}Ra$), com meia-vida de apenas 3,82 dias. Elementos mais instáveis têm meia-vida ainda menor, como o polônio-214 ($^{214}_{84}Po$), de aproximadamente $1{,}6 \cdot 10^{-4}$ s.

A tabela a seguir lista a meia-vida de alguns radioisótopos.

Meia-vida de alguns radioisótopos

Nome do elemento	Símbolo	Meia-vida
Urânio-238	$^{238}_{92}U$	$4{,}468 \cdot 10^{9}$ anos
Rádio-226	$^{226}_{88}Ra$	1.600 anos
Césio-137	$^{137}_{55}Cs$	30,08 anos
Estrôncio-90	$^{90}_{38}Sr$	28,9 anos
Iodo-131	$^{131}_{53}I$	8 dias
Radônio-222	$^{222}_{86}Rn$	3,82 dias
Iodo-128	$^{128}_{53}I$	24,99 minutos
Prata-110	$^{110}_{47}Ag$	24,6 segundos
Radônio-217	$^{217}_{86}Rn$	0,54 milissegundo
Polônio-214	$^{214}_{84}Po$	163,6 microssegundos

Fonte: elaborado com base em NATIONAL NUCLEAR DATA CENTER. **Interactive Chart of Nuclides**. Nova York, [20--?]. Disponível em: https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/. Acesso em: 11 out. 2024.

Valores da meia-vida de alguns radioisótopos.

O césio-137 é um radioisótopo que, no Brasil, ficou muito conhecido depois de 1987, devido a um acidente no município de Goiânia (GO). Na ocasião, um equipamento de radioterapia indevidamente descartado foi desmontado, e uma cápsula de seu interior contendo césio-137 foi aberta. O material, por brilhar no escuro, foi distribuído até entre crianças. Esse acidente extremamente sério afetou a saúde de centenas de pessoas.

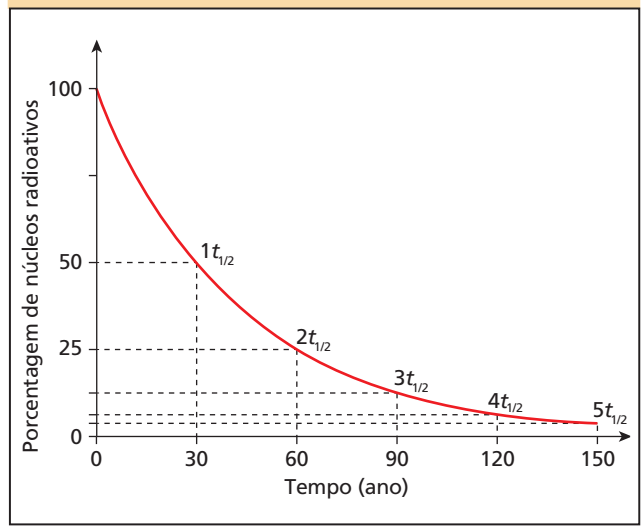
O césio-137 é, ainda hoje, uma das principais fontes radioativas no entorno da usina de Chernobyl, atual Ucrânia, onde ocorreu a explosão de um reator nuclear em 1986, liberando material radioativo na atmosfera. Esse evento resultou em uma catástrofe ambiental e na contaminação de uma área de cerca de 150.000 km^2, atingindo Ucrânia, Bielorrússia e Rússia, com centenas de milhares de pessoas afetadas nos anos seguintes. O desastre de Chernobyl teve grande impacto na saúde humana, como cânceres, malformações congênitas e distúrbios endócrinos, além de impactos sociais e econômicos significativos, muitos dos quais persistem até hoje.

Em Fukushima, no Japão, onde um acidente com uma usina nuclear ocorreu em 2011, por ocasião de um terremoto seguido de um *tsunami* que danificou três dos seis reatores nucleares da usina, altos níveis desse radioisótopo também foram encontrados. Esse desastre também impactou a saúde da população local, além de causar danos ambientais, como a contaminação da água e do solo. Os efeitos a longo prazo desse desastre estão sendo estudados até hoje.

Se quisermos saber quanto tempo é necessário para que uma amostra que contenha um material radioativo, como o césio-137, tenha essa quantidade de radioisótopos reduzida pela metade, precisamos saber o valor de sua meia-vida.

O gráfico apresenta o decaimento radioativo percentual do césio-137 em função da idade da amostra.

Decaimento radioativo do césio-137



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução de LOPES, E.; JONAS, T.; YAMAMOTO, S. M. 13. ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

Representação gráfica da porcentagem de núcleos radioativos de césio-137 em função do tempo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

No Brasil, em 1987, houve um acidente radioativo no município de Goiânia, estado de Goiás. Esse foi considerado o mais severo acidente radiológico do país. Na ocasião, uma cápsula contendo césio-137 foi abandonada equivocadamente em um ferro-velho, resultando na exposição de centenas de pessoas à radioatividade. No acidente, aproximadamente 20 g de material radioativo foram expostos.

Sabendo que o césio-137 é um radioisótopo com meia-vida de 30 anos, para uma amostra inicial de césio-137 de massa 20 g, calcule:

a. o número de meias-vidas desse elemento passados 120 anos;

b. a massa restante (ou residual) após esse intervalo de tempo.

Analisar o enunciado

O césio-137, material envolvido no acidente ocorrido em Goiânia, é um material radioativo, ou seja, que sofre decaimento espontâneo de acordo com o seu tempo de meia-vida. Considerando a amostra inicial de césio-137 exposta nesse acidente, pede-se a identificação da quantidade de meias-vidas pelas quais a amostra passou no período de 120 anos e a massa restante após esse intervalo de tempo.

Selecionar as informações relevantes

De acordo com o enunciado, o césio-137 tem meia-vida de 30 anos, a amostra inicial tem massa de 20 g, e o período de tempo a ser considerado é de 120 anos.

Aplicar o conceito estudado

a. Devemos, inicialmente, relacionar corretamente o conceito de meia-vida e o tempo total considerado.

Para calcular o número de meias-vidas, precisamos dividir o tempo transcorrido (Δt) pela meia-vida do elemento (P). No caso, o tempo transcorrido é de 120 anos e a meia-vida, 30 anos. Assim, temos:

$$n = \frac{\Delta t}{P} \Rightarrow n = \frac{120}{30} \therefore n = 4$$

b. Vamos utilizar um método indutivo para a determinação da massa residual, considerando que, para cada meia-vida (ou período de semidesintegração), a massa da amostra deve reduzir-se à metade.

LUIZ RUBIO/ ARQUIVO DA EDITORA

Podemos, ainda, generalizar o processo para um número n qualquer de meias-vidas. Assim, considerando m a massa residual e m_0 a massa inicial, após a primeira meia-vida, temos: $m = \frac{m_0}{2^1}$

Após a segunda meia-vida: $m = \frac{m_0}{2^2}$

Após a terceira meia-vida: $m = \frac{m_0}{2^3}$

Após um número n de meias-vidas, a generalização do procedimento nos fornece a seguinte relação:

$$m = \frac{m_0}{2^n}$$

No caso estudado, $n = 4$, portanto:

$$m = \frac{20}{2^4} \Rightarrow m = \frac{20}{16} \therefore m = 1{,}25 \text{ g}$$

Verificar a solução

De fato, após os 120 anos e passadas 4 meias-vidas, é esperado que a massa residual seja menor que a massa inicial.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. O que significa meia-vida de um elemento radioativo? 5. A meia-vida de um elemento radioativo é o intervalo de tempo em que uma amostra de material radioativo tem sua quantidade reduzida pela metade.

6. Analisando o gráfico **Decaimento radioativo do césio-137** e a tabela **Meia-vida de alguns radioisótopos**, responda:

a. Qual é a meia-vida do césio-137? 6. a. 30 anos.

b. Qual seria a porcentagem de núcleos radioativos presentes em uma amostra de césio-137 após uma meia-vida? 6. b. 50%

c. E após três meias-vidas, qual seria a porcentagem de núcleos radioativos presentes nessa amostra? 6. c. 12,5%

7. Um pesquisador é responsável por estudar a velocidade de decaimento de uma amostra radioativa cuja massa inicial é de 28 gramas e o período de semidesintegração é de 17 horas. Quanto tempo levará para que a amostra radioativa atinja um nível de redução de massa considerado seguro, como 1,75 grama? 7. 68 h

Aplicações da radioatividade

Os radioisótopos têm diversas aplicações, tanto na área médica quanto na área industrial. Na área médica, por exemplo, eles são empregados no tratamento e no diagnóstico de doenças, como o câncer.

Radioterapia e radiofármacos

A **radioterapia** utiliza radiação ionizante para impedir a proliferação de células anormais que formam um tumor ou para destruí-las. Essa radiação é produzida por aceleradores lineares ou fontes radioativas, como o césio-137 ou o cobalto-60. Um exemplo do uso da radioatividade na radioterapia é o tratamento de tumores cerebrais. Algumas técnicas específicas permitem a entrega de doses altamente concentradas de radiação ao tumor cerebral, minimizando os danos aos tecidos circundantes. A radioterapia tem a capacidade de danificar o DNA das células e exige uma precisão ímpar para assegurar que apenas as células cancerígenas sejam atingidas, evitando, ao máximo, danos às células saudáveis ao redor.

Os avanços tecnológicos têm contribuído para o desenvolvimento de técnicas cada vez mais precisas e menos invasivas, melhorando a qualidade de vida dos pacientes e aumentando as taxas de sucesso nos tratamentos.

Os radioisótopos podem ainda ser usados para fins de diagnóstico. Por exemplo, pequenas doses de iodo-131 podem ser administradas a um paciente para que sejam absorvidas pela glândula tireoide. Quando o paciente é colocado em uma câmara que detecta a radiação emitida pelo iodo, imagens são formadas indicando a condição da glândula. Quando o radioisótopo é associado a um fármaco, que é o nome dado à substância química usada como princípio ativo de medicamentos, ele passa a ser chamado de **radiofármaco**.

Irradiação de alimentos

Na área industrial, os radioisótopos podem ser utilizados em um processo conhecido como **irradiação de alimentos**. Esta se faz presente em mais de 50 países e consiste na esterilização de alimentos quando expostos a uma fonte de radiação, reduzindo ou eliminando microrganismos e insetos nocivos. A irradiação não torna o alimento radioativo, não compromete sua qualidade nutritiva nem muda sua cor ou textura.

A irradiação de alimentos geralmente se dá por meio do radioisótopo $^{60}_{27}Co$, que emite radiação gama. O esquema a seguir mostra o processo no qual os alimentos são expostos a uma fonte que emite essa radiação. Quando não está sendo utilizada, a fonte é armazenada em uma piscina com água.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fique por dentro

Irradiação de alimentos

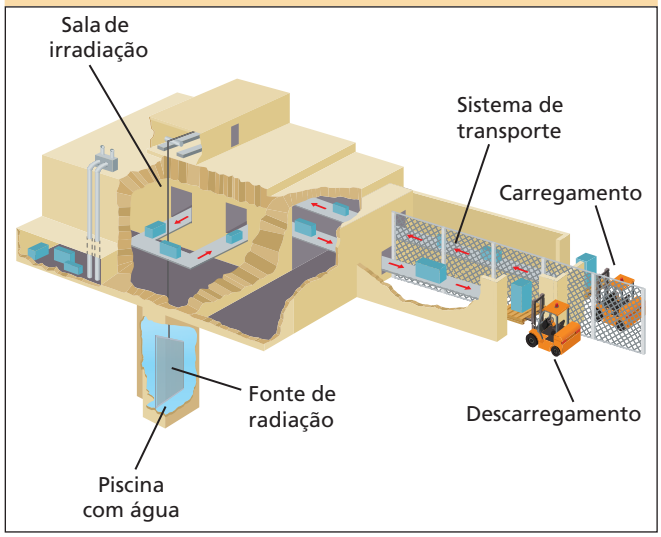
JUNIOR, M. F.; VITAL, H. C. Irradiação de alimentos. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Brasília, DF, 9 dez. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/irradiacao. Acesso em: 11 out. 2024.

Texto da Embrapa sobre o processo de irradiação de alimentos e segurança alimentar.

No Brasil, a irradiação de alimentos é devidamente legalizada pela Resolução da Anvisa RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, e pela Instrução Normativa nº 9, de 24 de fevereiro de 2011, do Ministério da Agricultura. De acordo com as normas, deve ser utilizada radiação com energia inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam tornar o alimento radioativo. Dessa forma, há garantias de que o alimento é seguro para consumo.

No Brasil, as embalagens dos alimentos irradiados devem apresentar a informação "Alimento tratado por processo de irradiação". Alguns países usam o símbolo denominado radura, mas sua utilização é facultativa, de acordo com o *Codex Alimentarius* – um conjunto de padrões, códigos e orientações relacionados à produção e à segurança alimentar reconhecido internacionalmente.

Instalação para irradiação de alimentos



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em DANTAS, V. Proteção por radiação. **Brasil Nuclear**, Rio de Janeiro, ano 6, n. 17, abr./jun. 1999.

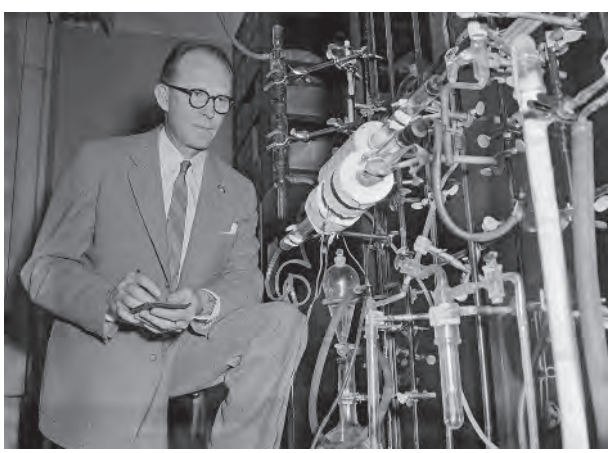
Representação esquemática simplificada de uma instalação para irradiação de alimentos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Datação por radiocarbono

Quando uma substância radioativa passa por decaimento radioativo, seus núcleos instáveis transformam-se em núcleos estáveis, emitindo radiação no processo. Essa taxa de decaimento é característica de cada substância e é descrita por sua meia-vida. Um os principais exemplos deste processo é o carbono-14, um isótopo radioativo do carbono-12, amplamente utilizado na datação arqueológica.

A meia-vida do carbono-14 é de aproximadamente 5.730 anos. Isso significa que, a cada 5.730 anos, metade do carbono-14 presente em uma amostra decai para nitrogênio-14, um núcleo estável. O carbono pode ser encontrado em organismos vivos, devido à sua interação com a biosfera, mas quando um organismo morre, o carbono-14 deixa de ser incorporado e diminui naturalmente.

Desta forma, por meio da medição da proporção de carbono-14 remanescente em um objeto arqueológico constituído de matéria orgânica, como fósseis, conchas marinhas, ossos e madeira, é possível determinar, de forma aproximada, o tempo decorrido desde a morte do organismo ao qual o carbono-14 foi incorporado e estimar a idade de um objeto de até 50 mil anos.



BETTMANN/GETTY IMAGES

O prêmio Nobel de Química de 1960 foi concedido ao físico-químico estadunidense Willard Frank Libby (1908-1980) pelo desenvolvimento de um método de datação por carbono-14 que revolucionou a Arqueologia (Universidade de Chicago, Estados Unidos, 1953).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Registre em seu caderno

EM FOCO Corremos algum risco ao fazermos um exame de raios X?

Exames de raios X, ou radiografias, são procedimentos não invasivos utilizados para produzir imagens internas do corpo humano, fornecendo informações importantes para diagnóstico e tratamento de diversas condições médicas e odontológicas. Durante a realização de procedimentos desse tipo, ficamos expostos a baixas doses de radiação, consideradas seguras para o corpo humano.

Em doses mais altas do que o necessário, no entanto, os raios X podem causar danos ao organismo. A exposição prolongada e repetitiva à radiação ionizante pode aumentar o risco de danos ao DNA, levando ao desenvolvimento de câncer e outras doenças. Além disso, altas doses de radiação podem causar queimaduras na pele e outros danos aos tecidos.

Os profissionais de saúde que operam aparelhos emissores de raios X são treinados para operar os equipamentos de forma segura e limitar a sua exposição e a do paciente à radiação. Eles também aplicam princípios de proteção radiológica, como usar aventais de chumbo e protetores de tireoide, que minimizam a exposição de áreas específicas e sensíveis do corpo.

SBYTOVAMN/GETTY IMAGES

Homem vestindo um avental de chumbo e um protetor de tireoide para um exame de raios X.

Conforme mencionado, é importante destacar que a maioria dos exames médicos e odontológicos utilizam baixas doses de radiação e, portanto, o risco de danos é mínimo. A relação custo-benefício atua a favor da realização dos exames na maioria dos casos. Para que isso não represente um risco, é importante que os exames de raios X sejam realizados apenas quando necessário, limitando a exposição à radiação ao mínimo necessário para obter as informações diagnósticas adequadas, sempre comunicando aos profissionais de saúde sobre exposições significativas anteriores e fornecendo informações sobre o histórico médico para ajudar a avaliar os riscos individuais.

1. De acordo com o texto, quais são os riscos associados à exposição a radiações ionizantes como os raios X?
2. Cite três aplicações dos raios X na Medicina e na Odontologia.
3. Que medidas podem e devem ser tomadas para minimizar os riscos associados à exposição aos raios X? Para fundamentar sua resposta, pesquise as regulamentações oficiais sobre proteção radiológica e monitoração individual de radiação para garantir a segurança e a saúde durante a exposição no trabalho e em serviços de saúde.

1. A exposição excessiva ou descontrolada à radiação ionizante pode ser prejudicial à saúde. A remoção de elétrons dos átomos e moléculas pode causar danos celulares e genéticos significativos, levando ao desenvolvimento de doenças e mutações genéticas. Os riscos incluem danos ao DNA, que podem levar ao desenvolvimento de câncer e outras doenças relacionadas à radiação, queimaduras na pele e outros danos aos tecidos.

2. Os raios X são utilizados para produzir imagens internas do corpo, proporcionando informações importantes para diagnóstico e tratamento de diversas condições médicas e odontológicas. Eles são amplamente utilizados em diversas especialidades para permitir que se vejam ossos, dentes, tecidos moles e órgãos internos, possibilitando a detecção de fraturas, infecções, tumores e outras patologias.

3. Para os pacientes, os exames de raios X devem ser solicitados e realizados apenas quando necessários, limitando a exposição à radiação ao mínimo possível. No caso dos profissionais de saúde eles devem, obrigatoriamente, adotar as recomendações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e do Ministério do Trabalho, que incluem o uso de aventais de chumbo e colares de tireoide para minimizar a exposição a áreas mais sensíveis do corpo.

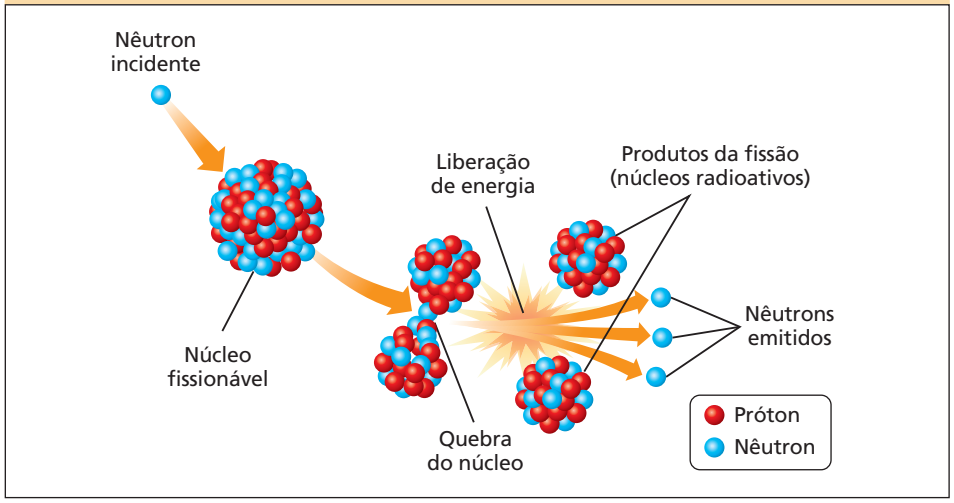
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fissão nuclear

O processo no qual o núcleo de um átomo se divide em duas ou mais partes menores é chamado de **fissão nuclear**. A ocorrência de fissão de forma natural é rara; normalmente a reação se dá de forma artificial, quando um núcleo é bombardeado (atingido) por partículas alfa, prótons ou nêutrons, por exemplo, liberando grande quantidade de energia.

Na reação de fissão, o resultado é a geração de núcleos menores, nêutrons e energia, sendo que a energia total deve se conservar. Devido à energia liberada, a fissão nuclear é utilizada em usinas termonucleares para a geração de energia elétrica.

Reação de fissão nuclear artificial



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

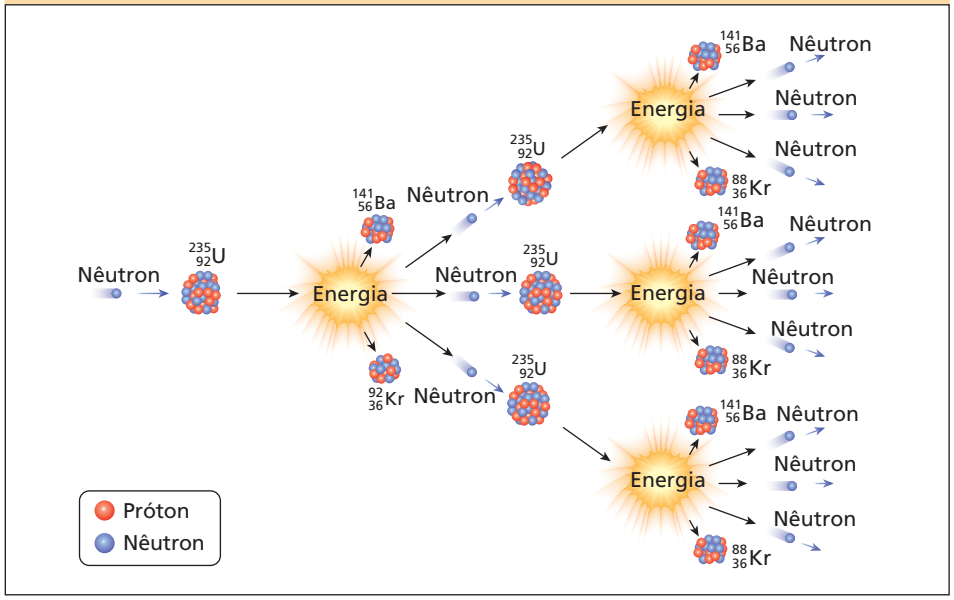
Fonte: elaborado com base em HILL, J. W.; McCREARY T. W. **Chemistry for changing times**. 14. ed. Harlow: Pearson, 2016.

Representação esquemática da reação de fissão nuclear artificial. Nela, o núcleo alvo é bombardeado por nêutrons. O núcleo se divide em núcleos menores (produtos de fissão), nêutrons e energia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Um exemplo de reação de fissão é a do urânio-235 ao ser bombardeado por um nêutron.

$$^{235}_{92}U + n \rightarrow {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3n + Energia$$

Reação de fissão do $^{235}_{92}U$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HILL, J. W.; McCREARY T. W. **Chemistry for changing times**. 14. ed. Harlow: Pearson, 2016.

Representação esquemática da reação de fissão do $^{235}_{92}U$. Nela, ocorre a liberação de nêutrons, que colidem com outros núcleos de $^{235}_{92}U$, provocando uma reação em cadeia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O esquema anterior mostra que, após o bombardeio inicial, outros nêutrons são liberados. Eles colidirão com outros núcleos de urânio-235, iniciando uma reação de fissões em cadeia que vai liberar cada vez mais energia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas usinas termonucleares, as reações se dão em reatores e são controladas para que não continuem indefinidamente. A energia da reação de fissão é usada para aquecer água, que se transforma em vapor e move turbinas, gerando energia elétrica. Quando bem controlada, com medidas de segurança e monitoramento apropriados, a energia nuclear representa uma alternativa às fontes de energia convencionais, contribuindo para a redução de gases de efeito estufa e proporcionando autonomia energética aos países.

US DEPT OF ENERGY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Amostra de urânio enriquecido, isto é, com alta concentração de urânio-235.

Um dos problemas da produção de energia usando fissão nuclear são os elementos radioativos instáveis gerados no processo, chamados de **rejeitos radioativos**. Esses rejeitos são extremamente prejudiciais ao ambiente e nocivos ao ser humano e outros animais; portanto, devem ser isolados até decaírem totalmente em elementos estáveis, não radioativos, o que pode levar milhares de anos. Por isso, o rejeito radioativo é geralmente enterrado em locais revestidos com chumbo e grossas paredes de concreto.

Quando a reação de fissão é usada para fins bélicos, como as bombas nucleares detonadas em Hiroshima e Nagasaki, no Japão, em 1945, não há controle das reações. Uma reação nuclear não controlada é um processo no qual a fissão nuclear (a divisão de um núcleo atômico em partes menores) ocorre de forma exponencial e incontrolável, liberando uma quantidade de energia muito grande em um curtíssimo intervalo de tempo. É como uma reação em cadeia que se acelera rapidamente, resultando em uma explosão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

8. Qual é a função do processo de irradiação de alimentos e como ele ocorre?

9. Considere que, em uma amostra de tecido arqueológico, foram encontrados 20 gramas de carbono-14. Sabendo que a meia-vida do carbono-14 é de aproximadamente 5.730 anos, quantos gramas desse isótopo estarão presentes na amostra após 17.190 anos? 9. 2,5 g

10. (Enem) A bomba
reduz neutros e neutrinos, e abana-se com o leque da
reação em cadeia

Fonte: ANDRADE, C. D. **Poesia completa e prosa**. Rio de Janeiro: Aguilar, 1973 (fragmento).

Nesse fragmento de poema, o autor refere-se à bomba atômica de urânio. Essa reação é dita "em cadeia" porque na 10. Alternativa **c**.

a. fissão do ^{235}U ocorre liberação de grande quantidade de calor, que dá continuidade à reação.

b. fissão de ^{235}U ocorre liberação de energia, que vai desintegrando o isótopo ^{238}U, enriquecendo-o em mais ^{235}U.

c. fissão do ^{235}U ocorre uma liberação de nêutrons, que bombardearão outros núcleos.

d. fusão do ^{235}U com ^{238}U ocorre formação de neutrino, que bombardeará outros núcleos radioativos.

e. fusão do ^{235}U com ^{238}U ocorre formação de outros elementos radioativos mais pesados, que desencadeiam novos processos de fusão.

8. A irradiação de alimentos tem como função principal esterilizar alimentos, expondo-os a uma fonte de radiação, reduzindo ou eliminando microrganismos e insetos nocivos. A irradiação de alimentos geralmente se dá por meio da exposição a radiações ionizantes, como os raios gama, por exemplo, que penetram nos alimentos, danificando o DNA e inibindo a capacidade de reprodução dos microorganismos sem tornar os alimentos radioativos.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

1. Quais são os núcleons que compõem o núcleo atômico? Por que a soma da massa dos núcleons não é igual ao valor obtido experimentalmente? 1. Prótons e nêutrons. Porque parte da massa é convertida em energia de ligação.

2. Os núcleos atômicos são estruturas fundamentais que compõem os átomos, sendo formados por prótons e nêutrons. Os prótons têm cargas elétricas positivas e, portanto, exercem uma repulsão eletrostática entre si. Explique a estabilidade de núcleos atômicos, apesar da repulsão eletrostática entre os prótons.

2. A estabilidade dos núcleos atômicos é garantida pela força nuclear forte, que atua entre os prótons e os nêutrons e tem intensidade muito maior do que a repulsão eletrostática. Os nêutrons ajudam a equilibrar a repulsão, aumentando a estabilidade.

3. Escreva a equação da emissão de uma partícula alfa (carga +2 e número de massa 4) por um átomo de $^{226}_{88}Ra$ e descubra qual é o elemento resultante. 3. $^{222}_{86}Rn$

4. Informe o número atômico, a massa e o número de nêutrons de cada elemento e calcule a massa total de cada um em unidade de massa atômica (u):

a. $^{4}_{2}He$ **b.** $^{14}_{6}C$ **c.** $^{235}_{92}U$

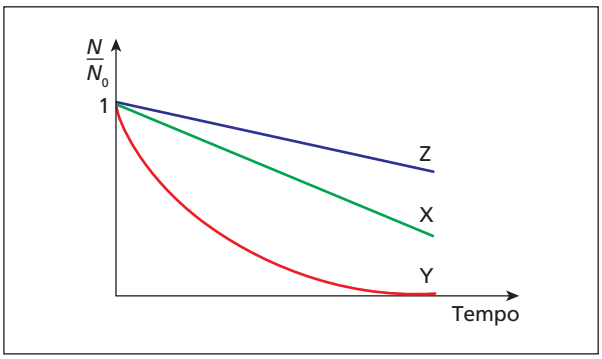
4. a. $A = 4$; $Z = 2$; $N = 2$; $M = 4{,}031882$ u
4. b. $A = 14$; $Z = 6$; $N = 8$; $M = 14{,}112976$ u
4. c. $A = 235$; $Z = 92$; $N = 143$; $M = 236{,}908487$ u

5. Suponha que determinado isótopo radioativo tenha meia-vida de 1 ano. Quanto restará da amostra original após 1 ano, 2 anos e 4 anos? 5. Após 1 ano: 0,5 =50%; após 2 anos: 0,25 = 25%; após 4 anos: 0,0625 = 6,25%.

6. (PUC-RS) Define-se como meia-vida de um elemento radioativo o tempo necessário para que a metade dos átomos radioativos inicialmente presentes em uma amostra pura desse elemento se desintegre. Assim sendo, decorrido o tempo correspondente a uma meia-vida, o número de átomos radioativos, N, presentes na amostra será a metade do número inicial de átomos radioativos, N_0.

O gráfico a seguir mostra a fração de átomos radioativos, $\frac{N}{N_0}$, presentes em três amostras radioativas puras, X, Y e Z, em função do tempo.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

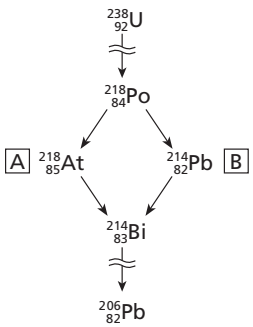


A alternativa que apresenta as amostras em ordem crescente de suas meias-vidas é: 6. Alternativa **c**.

a. X – Y – Z
b. X – Z – Y
c. Y – X – Z
d. Y – Z – X
e. Z – X – Y

7. Na família radioativa do urânio-238 ($^{238}_{92}U$), uma das etapas de decaimento é do polônio-218 ($^{218}_{84}Po$), que sofre duas desintegrações e se transforma no bismuto-214 ($^{214}_{83}Bi$). Essas desintegrações são apresentadas a seguir.

Decaimento radioativo do polônio-218



ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BÉ, M. M. *et al.* **Table of radionuclides**. Bureau International des Poids et Mesures: Sèvres, 2008. v. 4. Disponível em: https://www.bipm.org/documents/20126/53814638/Monographie+BIPM-5+-+Volume+4+%282008%29.pdf/8cc59fdf-b966-81d7-7ce0-1d4ca78af5c9. Acesso em: 11 out. 2024.

Representação esquemática do decaimento radioativo do $^{218}_{84}Po$.

Determine o tipo de emissão em cada um dos decaimentos possíveis, até o bismuto-214, e explique por que essa transformação pode apresentar dois caminhos.

8. (ITA-SP) Considere as quatro proposições seguintes:

I. Os isótopos ^{16}O e ^{18}O do oxigênio diferenciam-se por dois nêutrons. 8. Alternativa **a**.
II. Sendo de 24.000 anos a meia-vida do ^{239}Pu, sua massa de 600 g reduzir-se-á a 200 g após 72.000 anos.
III. Um núcleo de ^{27}Mg se transmuta em $^{28}A\ell$ pela emissão de uma partícula β.
IV. Um fóton de luz vermelha incide sobre uma placa metálica causando a emissão de um elétron.

Se esse fóton fosse de luz azul, provavelmente ocorreria a emissão de dois ou mais elétrons.

Então:

a. apenas uma das proposições é correta.
b. apenas duas das proposições são corretas.
c. apenas três das proposições são corretas.
d. todas elas são corretas.
e. nenhuma delas é correta.

9. (UFC-CE) O urânio-238 ($^{238}_{92}U$), número de massa $A = 238$ e número atômico $Z = 92$, é conhecido, entre outros aspectos, pela sua radioatividade natural. Ele inicia um

7. No caminho representado por (A), o ^{218}Po decai para o astato-218 (^{218}At) e emite uma partícula β; em seguida, o ^{218}At decai para o bismuto-214 (^{214}Bi) e emite uma partícula α. No caminho representado por (B), o ^{218}Po decai para o chumbo-214 (^{214}Pb) e emite uma partícula α; em seguida, o ^{214}Pb decai para o ^{214}Bi e emite uma partícula β. Em ambos os casos, a alteração no número atômico e no número de massa é mantida, pois são emitidas as mesmas partículas e a ordem em que essas emissões ocorrem não altera o produto final.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

processo de transformações nucleares, gerando uma série de elementos intermediários, todos radioativos, até resultar no chumbo-206 ($^{206}_{82}Pb$) que encerra o processo por ser estável. Essas transformações acontecem pela emissão de partículas α (núcleos de hélio, $^{4}_{2}He$) e de partículas β (a carga da partícula β é a carga de um elétron). Na emissão α, o número de massa *A* é modificado, e na emissão β, o número atômico *Z* é modificado, enquanto A permanece o mesmo. Assim, podemos afirmar que em todo o processo foram emitidas: 9. Alternativa **d**.

a. 32 partículas α e 10 partículas β.

b. 24 partículas α e 10 partículas β.

c. 16 partículas α e 8 partículas β.

d. 8 partículas α e 6 partículas β.

e. 4 partículas α e 8 partículas β.

10. O radioisótopo tecnécio-99 decai por emissão β e é o isótopo mais utilizado na Medicina. Os seguintes dados foram coletados de uma amostra de ^{99}Tc.

Atividade radioativa do tecnécio-99

Desintegração por minuto	Tempo (h)
180	0
130	2,5
104	5,0
77	7,5
59	10,0
46	12,5
24	17,5

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química**: a ciência central. Tradução de LOPES, E.; JONAS, T.; YAMAMOTO, S. M. 13. ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

Atividade radioativa do tecnécio-99 para diferentes tempos.

a. Construa, em um papel milimetrado ou com o auxílio de uma planilha eletrônica, o gráfico de desintegrações por minuto em função do tempo correspondente a esses dados. 10. a. Construção de gráfico.

b. Com base no gráfico que construiu, determine a meia-vida do tecnécio-99. 10. b. Aproximadamente 6 horas.

11. Aproximadamente um terço da produção mundial de alimentos se perde antes de chegar à mesa do consumidor. Isso se dá porque entre a colheita e a mesa há perdas na plantação, no transporte, desperdícios no abastecimento e, até mesmo, na hora do consumo. Dessa forma, procedimentos capazes de estender a vida útil e preservar esses produtos, como a irradiação, têm-se mostrado uma ferramenta eficaz para reduzir perdas, garantir a segurança alimentar e aumentar a oferta de alimentos ao consumidor.

O processo de irradiação para conservação consiste em expor os alimentos, a granel ou empacotados, a ondas de energia e, dependendo do objetivo e normas estabelecidas, pode-se aplicar uma dose pequena, média ou alta, denominadas de radiação. [...]

Fonte: TAVARES, E. Radiação gama ajuda na conservação e reduz desperdício de alimentos. **Agência de Notícias**. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2017. Disponível em: https://www.ufpe.br/agencia/pesquisas-bkp/-/asset_publisher/rIL2cIuRIxA4/content/radiacao-gama-ajuda-na-conservacao-e-reduz-desperdicio-de-alimentos/40623. Acesso em: 11 out. 2024.

Visando o combate a pragas em grãos, suponha que um silo armazenando parte de uma colheita de soja tenha sido irradiado com raios γ de comprimento de onda $\lambda = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ nm.

a. Determine a frequência dos raios γ utilizados no silo. Considere a intensidade da velocidade de propagação das radiações eletromagnéticas no ar $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s 11. a. $1{,}5 \cdot 10^{19}$ Hz

b. Discuta com os seus colegas e reflita sobre o papel da irradiação dos alimentos na redução do desperdício de alimentos e melhorias na sustentabilidade na cadeia produtiva global de alimentos. Considere a importância desse processo na manutenção da qualidade nutritiva dos alimentos e no fortalecimento da soberania alimentar.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

11. b. Espera-se que os estudantes reflitam sobre como a irradiação de alimentos pode contribuir para a redução do desperdício e para a soberania alimentar, prolongando a vida útil dos alimentos, reduzindo a necessidade de conservantes químicos e aumentando a eficiência da cadeia produtiva, o que resulta no uso mais sustentável de recursos naturais e na redução do impacto ambiental, ao mesmo tempo que mantém a qualidade nutritiva dos alimentos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

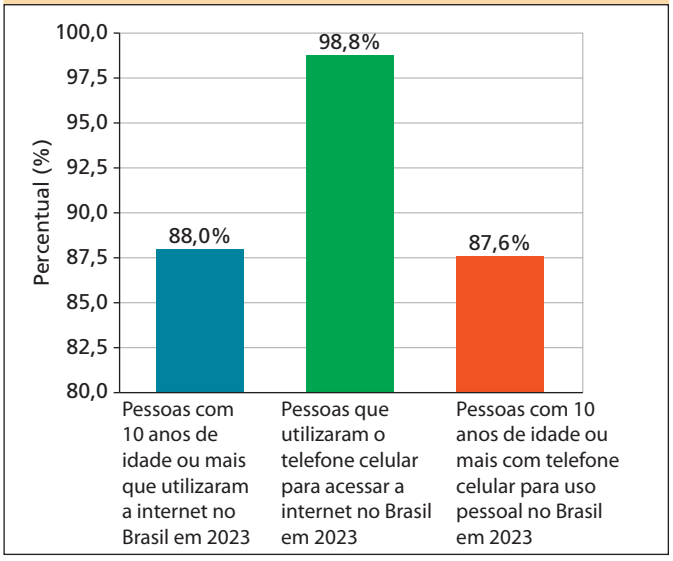
Cidadania digital

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades EM13CNT302 e EM13CNT303, além do trabalho interdisciplinar com Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, desenvolvendo a habilidade EM13CHS502.

Os *smartphones* estão cada vez mais presentes na rotina das pessoas. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 88,0% das pessoas com 10 anos de idade ou mais utilizaram a internet no Brasil em 2023, e o dispositivo mais utilizado para acessar a internet naquele ano foi o telefone celular, utilizado por 98,8% dessas pessoas. Em 2023, 87,6% das pessoas com 10 anos de idade ou mais tinham telefone celular para uso pessoal, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) Contínua divulgada pelo IBGE em agosto de 2024. Mas será que as pessoas fazem um uso equilibrado desse dispositivo? Como é a sua relação com essa ferramenta tecnológica?

Uso de telefone celular e internet no Brasil em 2023

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Em 2023, 87,6% das pessoas com 10 anos ou mais tinham telefone celular para uso pessoal. **Agência IBGE**, [Rio de Janeiro], 16 ago. 2024. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41026-em-2023-87-2-das-pessoas-com-10-anos-ou-mais-utilizaram-internet. Acesso em: 12 out. 2024.

Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) Contínua, divulgados em 16 de agosto de 2024, pelo IBGE, sobre o uso de telefone celular e internet no Brasil em 2023.

O uso responsável, consciente, seguro e ético de ferramentas e recursos tecnológicos no ambiente virtual está relacionado à prática da cidadania digital. Como você utiliza os recursos de mídia em seu celular ou computador? Preocupa-se em utilizar os recursos de forma equilibrada e ética? Pensa nas consequências de suas ações nas redes sociais?

Em grupo com dois colegas, reflitam sobre essa temática. Conversem sobre a importância de buscar uma dieta informacional equilibrada, de agir de forma ética e responsável no ambiente virtual, de preservar a privacidade e do cuidado com a segurança. As questões a seguir podem ajudar nessa reflexão.

1. O que vocês entendem por cidadania digital?
2. Vocês consideram que usam de forma equilibrada os recursos digitais, como plataformas virtuais, redes sociais, jogos, aplicativos, *sites* da internet? E seus familiares, amigos e outras pessoas com quem convivem, vocês notam que eles têm uma dieta informacional equilibrada?
3. Como vocês utilizam esses recursos e para quê?
4. Vocês sabem quantas horas passam diariamente na internet? E nas mídias sociais?
5. Já experimentaram um *detox* digital, determinando um período para se desconectar do ambiente virtual? Se sim, quantas horas ou dias conseguiram ficar sem se conectar à internet?
6. Em sua opinião, por que é importante agir de forma ética e responsável, preservar a privacidade e prezar pela segurança e o bem-estar no ambiente virtual?
7. Vocês sabem como se proteger na internet? Conhecem mecanismos e canais de denúncia disponibilizados pelas plataformas digitais?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ampliação de repertório

Depois dessa reflexão inicial, é hora de aprofundar as discussões com seus colegas de grupo com pesquisas sobre os temas relacionados à cidadania digital. Pesquisem as diferentes formas de interação nas redes sociais (curtidas, compartilhamentos e comentários). Que atitudes vocês identificam corresponder a um comportamento responsável, consciente, seguro e ético na interação entre pessoas no ambiente virtual? Pesquisem as características do *cyberbullying* e o que é considerado discurso de ódio nas redes sociais. Pesquisem sobre as atitudes que podem ser tomadas para se proteger. Lembrem-se de sempre buscar fontes confiáveis.

Complementem a pesquisa buscando a definição de cidadania digital e dos conceitos associados, como privacidade e proteção de dados, comportamento ético nas redes sociais, uso responsável das tecnologias de informação e comunicação.

Para facilitar a etapa seguinte, organizem os dados pesquisados em seu caderno, com notas autoadesivas, ou com o auxílio de alguma ferramenta digital.

Produção de conteúdo

Agora que vocês já refletiram sobre o tema proposto, considerem a seguinte proposta para aplicar esse conhecimento e compartilhar sua experiência com a comunidade.

Elaborem um guia sobre cidadania digital em formato de fanzine. Fanzine ou zine é uma publicação em forma de revista produzida artesanalmente, com desenhos, colagens, textos escritos a mão ou recortes impressos, para compartilhar e divulgar ideias. Podem conter textos em formatos diversos, poesias, histórias em quadrinhos e elementos artísticos variados, propondo a livre expressão. Eles são publicações independentes, de caráter alternativo e geralmente de circulação limitada, criadas por fãs de um tema específico. O termo "fanzine" é a junção das palavras "fan" (fã) e "magazine" (revista, em inglês), indicando que se trata de uma revista feita por e para fãs. Tradicionalmente, os fanzines eram confeccionados à mão e depois fotocopiados. No entanto, com o avanço das tecnologias digitais, muitos fanzines passaram a ser distribuídos também em formato eletrônico ou em plataformas digitais.

Os fanzines possuem uma longa história de associação com movimentos culturais alternativos e subversivos. Esses espaços são importantes para a expressão de ideias fora do *mainstream*, permitindo aos fãs explorar e divulgar suas paixões de forma livre e criativa.

Lembrem-se de exercitar a empatia, o diálogo e a cooperação no trabalho em grupo.

O fanzine pode ser compartilhado com os colegas da turma e cópias impressas podem ser distribuídas para a comunidade.

Autoavaliação

Este espaço é destinado ao reconhecimento de seus pontos fortes e das oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

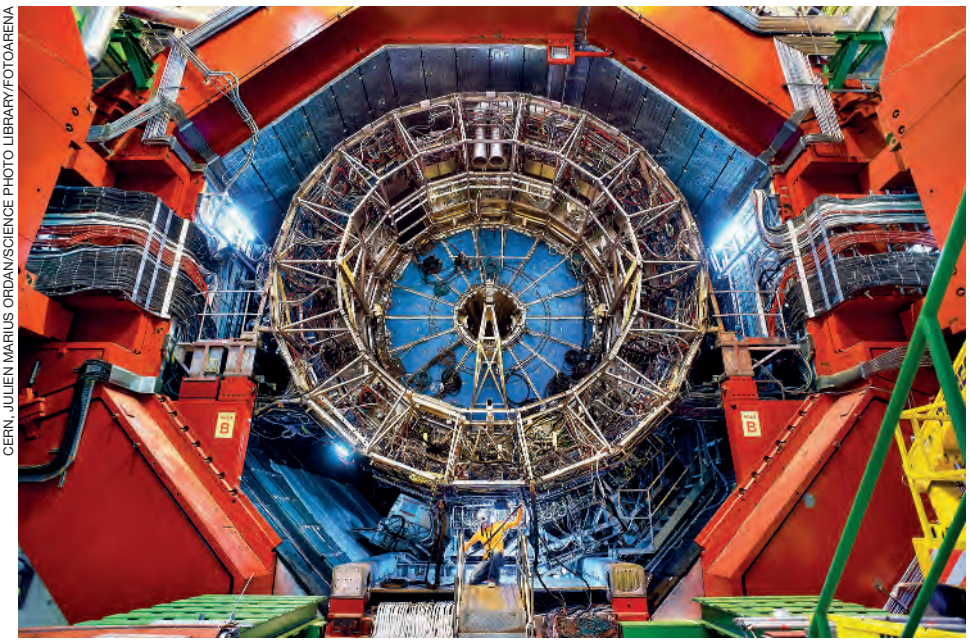
- Aplicar técnicas de pesquisa para avaliar de forma crítica, nas mídias utilizadas, a confiabilidade das informações e do conteúdo apresentados.
- Selecionar, organizar e resumir as informações coletadas.
- Aderir ao tema, com a seleção de textos e informações adequadas.
- Apresentar os resultados de maneira clara e com domínio dos conceitos estudados.
- Produzir e divulgar o fanzine com linguagem adequada, de forma ética e imparcial.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

UNIDADE 6

MUNDO TECNOLÓGICO

Se possível, consulte as aberturas das unidades 6 dos volumes de Biologia e de Química desta coleção, faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza, discutindo as aplicações do Eletromagnetismo e da Física Quântica no desenvolvimento de inovações na Biotecnologia e na Nanotecnologia.



CERN, JULIEN MARIUS ORDAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Detector de partículas ALICE instalado no Grande Colisor de Hádrons da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (Suíça, 2019).

ODS 9

O Grande Colisor de Hádrons (conhecido pelo acrônimo LHC, do inglês, *Large Hadron Collider*), da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN, do francês, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*), é considerado a maior máquina já construída pelo ser humano. Compondo o LHC, a 175 m abaixo da superfície, há um tubo a vácuo formando uma circunferência com 27 km de extensão. Dentro desse tubo, feixes de prótons são acelerados por campos elétricos e colimados por campos magnéticos atingindo velocidades muito próximas à velocidade da luz. A colisão desses feixes possibilita que os cientistas estudem as partículas fundamentais da matéria, suas interações e as leis que regem o mundo subatômico. Atualmente, algoritmos de inteligência artificial vêm sendo desenvolvidos para analisar os eventos resultantes dessas colisões, auxiliando os cientistas a selecionar os dados coletados.

Nesta unidade, vamos estudar a Eletrostática, a Eletrodinâmica, o Eletromagnetismo, os conceitos introdutórios da Física Quântica e algumas de suas aplicações tecnológicas.

O tema desta unidade também é trabalhado nos volumes de Biologia e de Química desta coleção.

Pense nisso!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

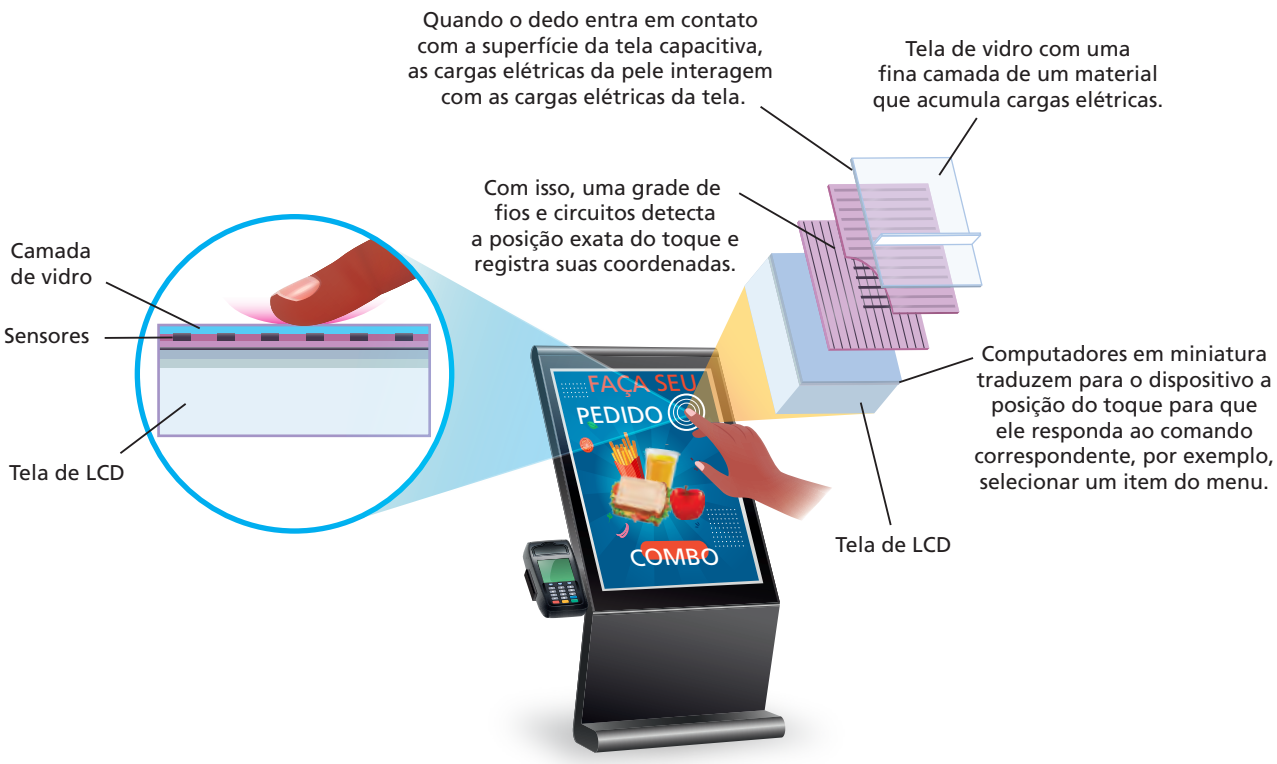
Registre em seu caderno

1. Quais as principais partículas que compõem o átomo?
2. O que faz um material ser um bom condutor de eletricidade?
3. A Terra pode ser considerada um grande ímã, apresentando um campo magnético que atua como um escudo, desviando as cargas elétricas provenientes do Sol. O que você entende por campo magnético?
4. É possível determinar de maneira precisa a posição e a quantidade de movimento de uma partícula como o elétron? Na Física Quântica, como se chama esse princípio?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 21

Eletrostática



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

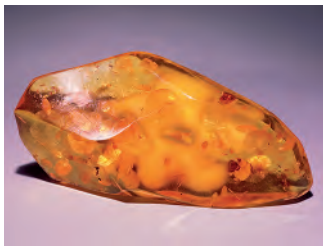
Fonte: elaborado com base em SAINI, S. **How do touch-sensitive screens work?** Ask an engineer. MIT School of Engineering, Cambridge, 7 jun. 2011. Disponível em: https://engineering.mit.edu/engage/ask-an-engineer/how-do-touch-sensitive-screens-work/. Acesso em: 27 out. 2024.

Ao digitar em telas sensíveis ao toque, como as de alguns serviços de autoatendimento, os toques são detectados por meio da interação entre cargas elétricas.

No mundo contemporâneo, a presença e a importância dos dispositivos eletrônicos são cada vez mais evidentes. A tecnologia *touchscreen*, por exemplo, permite interação pelo toque na tela e pode facilitar o uso de dispositivos e serviços. Um dos principais tipos de tela que possibilita o reconhecimento e a manipulação por meio do toque é a tela capacitiva. Esse tipo de tela sensível ao toque é composto de uma camada eletricamente carregada que, ao interagir com um objeto eletricamente carregado, como é o caso do corpo humano, detecta o local exato do toque e responde de forma extremamente rápida ao estímulo. Para entender como telas sensíveis ao toque (*touchscreen*) e outros dispositivos eletrônicos funcionam, é importante conhecer os conceitos fundamentais da eletricidade, como os da eletrostática, que estuda as cargas elétricas em repouso.

Neste capítulo, estudaremos o conceito de carga elétrica, os processos de eletrização, a força elétrica, o campo elétrico, o potencial elétrico e a energia potencial eletrostática, que são elementos essenciais para compreender como a interação entre cargas elétricas se relaciona ao funcionamento de dispositivos eletrônicos e ao desenvolvimento de novas tecnologias, como a *touchscreen*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



JOEL AREM/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

O âmbar é um tipo de resina fossilizada.

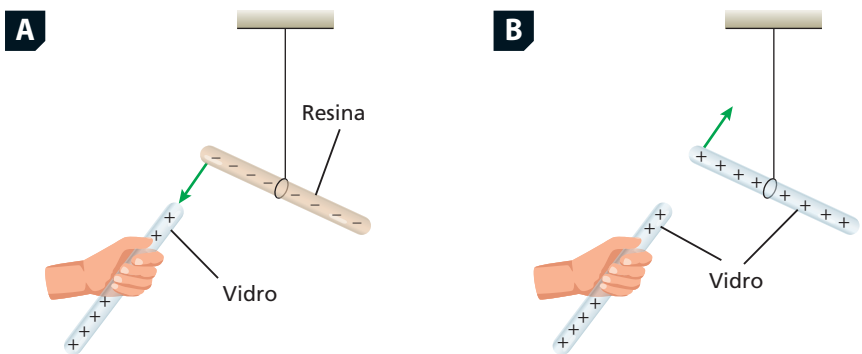
Eletrização

Na Antiguidade, os gregos já haviam percebido que o âmbar, um tipo de resina fossilizada, quando atritado com a pele de um animal, adquiria o poder de atrair pequenos objetos próximos, como grãos de poeira.

Foi somente no século XVIII que o químico francês Charles Du Fay (1698-1739) estudou como objetos que eram atritados por lã se atraíam em certas circunstâncias e, em outras, se repeliam. Ele concluiu que havia dois tipos diferentes de eletricidade, que designou, conforme o material de referência, como eletricidade vítrea e eletricidade resinosa. Assim, verificou que corpos com propriedades elétricas diferentes se atraiam e corpos com as mesmas propriedades elétricas se repeliam.

Foi o cientista e político estadunidense Benjamin Franklin (1706-1790) quem sugeriu o termo **carga positiva** para designar eletricidade vítrea e o termo **carga negativa** para a eletricidade resinosa, por volta de 1750. Para Franklin, corpos que, em certas circunstâncias, tinham comportamento semelhante ao do vidro eram carregados positivamente, e corpos que tinham comportamento semelhante ao do âmbar eram carregados negativamente. Assim, por exemplo, quando uma barra de vidro é atritada com um pedaço de seda, o vidro adquire carga positiva e a seda, carga negativa.

Hoje, no entanto, sabemos que os diversos materiais são constituídos de átomos, que, por sua vez, são formados por prótons, nêutrons e elétrons. Prótons têm carga positiva; elétrons, carga negativa; e nêutrons não têm carga elétrica. Se um material possui o mesmo número de prótons e de elétrons, dizemos que ele é **eletricamente neutro**; se o material apresenta um déficit de elétrons em relação ao número de prótons, dizemos que ele está **eletrizado positivamente**; e um material com excesso de elétrons em relação ao número de prótons está **eletrizado negativamente**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Ao aproximarmos um objeto carregado positivamente de um objeto carregado negativamente, ocorre a atração elétrica entre eles. **(B)** Ao aproximarmos dois objetos carregados positivamente, ocorre a repulsão elétrica. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Carga elétrica elementar

A eletrização ocorre graças à transferência de elétrons entre os dois corpos. Cada um desses elétrons tem uma carga elétrica (Q_e) que, em módulo, é igual à carga do próton (Q_p).

$$Q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \text{ e } Q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

O módulo dessas cargas é denominado **carga elétrica elementar** (***e***).

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o **coulomb (C)** é a unidade de medida para a carga elétrica.

Como um corpo eletrizado apresenta excesso ou perda de determinado número de elétrons, todo corpo eletrizado tem carga elétrica cujo valor é um múltiplo da carga elétrica elementar. A **quantidade de carga elétrica** (***Q***) de um corpo é dada pela expressão:

$$Q = \pm n \cdot e$$

Em que n é o número de elétrons em falta ou em excesso no corpo.

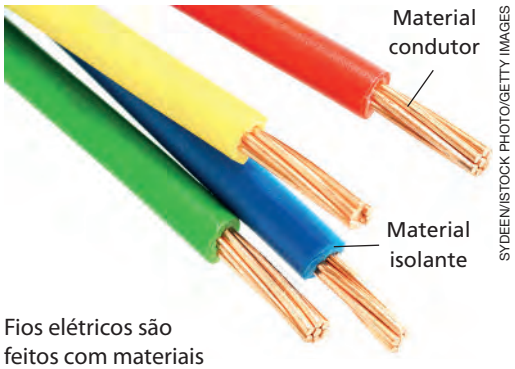
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Muitas vezes, vamos nos referir simplesmente como carga elétrica à quantidade de carga elétrica, que poderá assumir as notações Q ou q.

Prótons e elétrons são partículas portadoras de carga elétrica, sendo esta uma propriedade intrínseca dessas partículas, isto é, uma característica natural, primitiva, fundamental, própria da matéria. Assim, sendo a carga elétrica uma característica fundamental dessas partículas, ela não pode ser explicada em termos de outras propriedades ou características.

Condutores e isolantes

Alguns materiais podem ser compreendidos como um conjunto de átomos cujo núcleo é cercado por elétrons. Esses elétrons são fracamente ligados ao núcleo atômico e podem se mover, sendo então chamados elétrons livres. Os materiais que apresentam elétrons livres são denominados **condutores**. Metais como platina, ouro e cobre são os exemplos mais comuns desse tipo de material. O cobre, por exemplo, é muito utilizado na confecção de fios condutores usados em instalações elétricas de residências.



SYDEEN/ISTOCK PHOTO/GETTY IMAGES

Fios elétricos são feitos com materiais condutores e isolantes.

Podemos definir a condutividade como uma propriedade dos materiais que indica a facilidade com que as cargas elétricas se movimentam entre os átomos. Além disso, a condutividade varia com a temperatura. Nos metais, por exemplo, a condutividade diminui com o aumento da temperatura.

Já os materiais conhecidos como **isolantes** têm poucos elétrons livres e, portanto, oferecem grande oposição à passagem de cargas elétricas. Nesses materiais, os elétrons encontram-se, de modo geral, fortemente ligados ao núcleo atômico. Entre exemplos de materiais isolantes são comuns a borracha, o silicone, o vidro e a cerâmica. No caso dos neurônios, em uma de suas regiões há a bainha de mielina, um envoltório formado por células acessórias, o qual, nesse caso, funciona como um isolante.

Nem sempre a condutividade elétrica ocorre em razão do transporte de elétrons livres; muitas vezes, acontece pelo transporte de íons, isto é, átomos eletrizados. No corpo humano, por exemplo, íons participam de vários processos corporais vitais e são conhecidos como **eletrólitos**. Os eletrólitos são átomos ionizados, também chamados de sais, como os íons de sódio, potássio, cálcio e magnésio. Além de ajudar a regular a distribuição de água no organismo e atuar no equilíbrio ácido-base, certos eletrólitos são responsáveis por desencadear as contrações musculares do corpo.

Processos de eletrização

Conforme estudamos, os corpos carregados eletricamente possuem um desequilíbrio entre as quantidades de elétrons e de prótons de seus átomos. Essa situação pode ser observada em processos denominados eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução.

Eletrização por atrito

É comum que crianças brincando e escorregando em brinquedos plásticos sintam um choque elétrico ao tocar em uma superfície metálica. Por causa do atrito entre as roupas e a superfície dos brinquedos, elétrons são trocados; uma parte fica com mais elétrons e a outra, com menos. Dessa forma, na **eletrização por atrito**, os corpos atritados ficam sempre com cargas de sinais opostos, isto é, um corpo perde elétrons, enquanto o outro ganha elétrons. Portanto, um corpo ficará carregado negativamente e o outro, positivamente.

Para sabermos qual corpo ficará carregado positivamente ou negativamente, usamos a chamada **série triboelétrica**, apresentada na tabela a seguir. A série classifica materiais de acordo com sua tendência de ganhar ou perder elétrons quando entram em contato e são separados.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Materiais no topo da série tendem a perder elétrons e ficam carregados positivamente, enquanto os materiais no final da série tendem a ganhar elétrons, ficando carregados negativamente. É usada para entender fenômenos de eletricidade estática, como quando esfregamos certos objetos e eles ficam eletricamente carregados.

Série triboelétrica de alguns materiais

Eletrização	Material
Positiva (+)	Vidro
	Sal
	Lã
	Pelo
	Seda
	Alumínio
	Papel
	Algodão
	Aço
	Madeira
	Âmbar
	Cobre
	Prata
	Ouro
	Borracha
Negativa (–)	*Teflon*

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em KIM, Y. J. *et al*. Effect of the relative permittivity of oxides on the performance of triboelectric nanogenerators. **RSC Advances,** [*S. l.*], v. 7, p. 49368-49373, out. 2017. Disponível em: https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/RA/C7RA07274K. Acesso em: 21 set. 2024.

A série triboelétrica é a sequência obtida de maneira teórica e experimental dos materiais com maior capacidade de ceder ou receber elétrons.

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

Depois de atritar várias vezes o plástico da caneta no cabelo, os pedaços de papel são atraídos por ela.

Podemos entender a eletrização por atrito realizando o seguinte experimento: pegue pequenos pedaços de papel e uma caneta esferográfica com corpo de plástico; em seguida, atrite o corpo da caneta em seu cabelo várias vezes e aproxime a parte atritada dos pedaços de papel. Você vai perceber que os pequenos pedaços de papel serão atraídos pela caneta. Isso ocorre porque a caneta foi eletrizada por atrito.

Esse exemplo de troca de cargas elétricas entre a caneta e o cabelo ilustra um fato muito importante, o **princípio de conservação de cargas**, que diz: em um processo de eletrização de um corpo, não ocorre criação nem desaparecimento de cargas elétricas, apenas transferência, de modo que a soma algébrica das cargas totais antes do processo (carga total nula) é igual à soma algébrica das cargas depois dele ($+Q - Q = 0$).

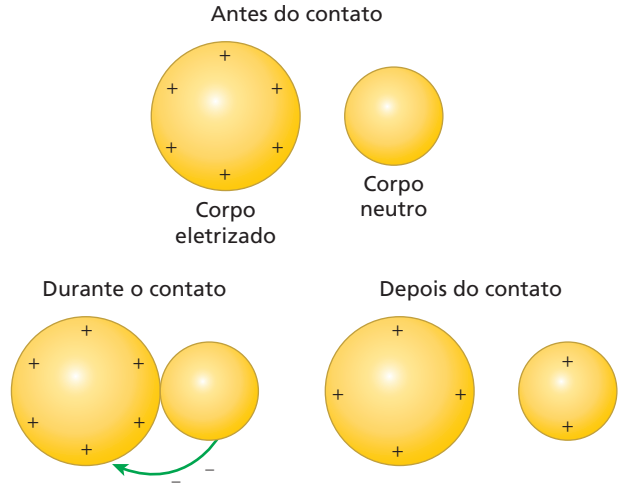
Eletrização por contato

A eletrização por contato pode causar choques elétricos quando encostamos em uma superfície e ainda efeitos mais graves, como danos em equipamentos eletrônicos sensíveis ou incêndio, por exemplo, em uma área, fábrica ou plataforma de petróleo que contenha vapores inflamáveis.

Considere uma pessoa que está carregada negativamente, ou seja, possui mais elétrons do que prótons em seu corpo. Quando ela toca em outro corpo condutor, neutro, uma parte dos elétrons em excesso é transferida para esse corpo. O corpo que foi tocado estava neutro e recebeu carga elétrica durante o contato. Chamamos esse processo de **eletrização por contato**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

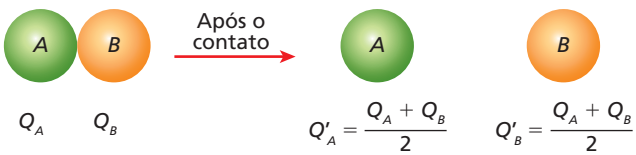
A eletrização por contato implica a transferência de cargas de um corpo para outro de modo que, ao final, os dois corpos ficam com cargas de mesmo sinal.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Um corpo carregado positivamente entra em contato com um corpo neutro. Os corpos trocam cargas entre si, de modo que os ambos ficam carregados positivamente. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Se colocamos em contato dois objetos, *A* e *B*, de mesmo formato e dimensões, com cargas diferentes, Q_A e Q_B, ambos terminam com a mesma carga elétrica.

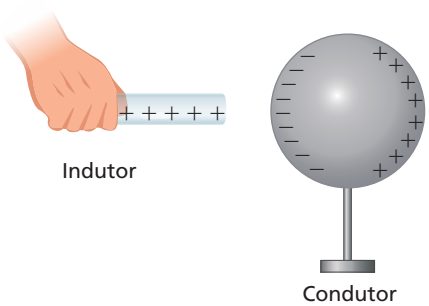


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Corpos idênticos dividem igualmente a carga elétrica total após o contato. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Eletrização por indução

O último processo que estudaremos é a **eletrização por indução**. Esse fenômeno é responsável pela separação de cargas elétricas de sinais contrários em um mesmo corpo e ocorre pela aproximação de um corpo eletrizado a um corpo neutro, sem que entre eles aconteça qualquer tipo de contato.

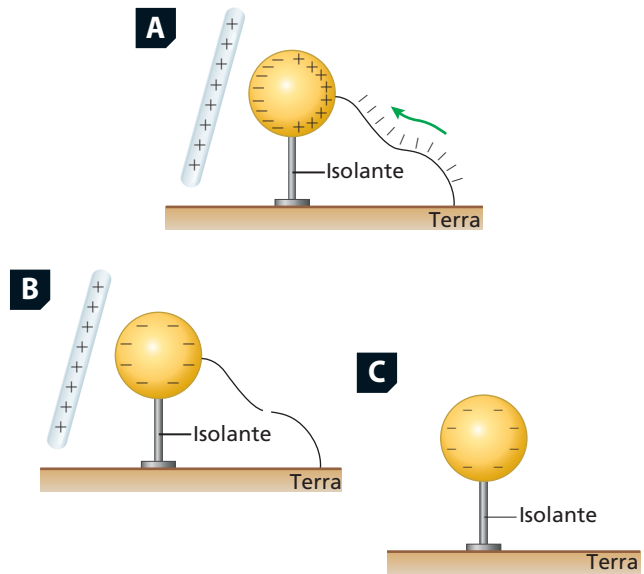


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Ao aproximarmos uma barra carregada (indutor) de um condutor, as cargas positivas do condutor são repelidas para uma região mais afastada. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Note que a presença da barra eletrizada, também chamada de **indutor**, induz a movimentação de cargas no condutor. Na região mais próxima entre condutor e indutor, as cargas têm sinais contrários e, na região oposta, as cargas têm sinais iguais. No entanto, o condutor ainda é considerado neutro, já que tem o mesmo número de prótons e elétrons. Para que esse corpo fique eletrizado, devemos manter o indutor em suas proximidades e conectá-lo à terra.

Ao conectarmos o condutor à terra (figura A), a região positiva do condutor atrai os elétrons da terra, que pode ser considerada um condutor perfeito. Em seguida, rompemos a conexão com a terra e afastamos a barra (figura B). Dessa forma, o condutor se torna carregado negativamente (figura C). Esse processo é denominado eletrização por indução. É por isso que o termo "aterrar um corpo" significa eliminar o excesso de cargas positivas ou negativas por meio de sua condução para a terra. Portanto, a terra pode enviar ou ceder elétrons, neutralizando o condutor.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da eletrização de um corpo. **(A)** Ao conectarmos o condutor à terra, a região positiva do condutor atrai as cargas negativas da terra. **(B)** Rompendo a ligação com a terra, o corpo mantém as cargas negativas. **(C)** Afastando a barra, o condutor permanece carregado negativamente. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Fique por dentro

Balões e eletricidade estática

REID, S. *et al*. Balões e eletricidade estática. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/balloons-and-static-electricity. Acesso em: 21 set. 2024.

Nesse *site*, é possível simular os processos de eletrização por atrito e indução utilizando objetos virtuais, como balões de aniversário e uma blusa de lã.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1. a. Não, pois as canetas são feitas do mesmo material.
1. b. Indução eletrostática e eletrização por atrito.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Pegue duas canetas idênticas, feitas do mesmo material, e atrite-as, esfregando uma contra a outra. Em seguida, aproxime a caneta de pedaços de papel previamente picados e registre o que acontece. Agora, esfregue uma das canetas contra seu cabelo ou em um pedaço de tecido e aproxime-a novamente dos pedacinhos de papel.

a. O comportamento dos pedacinhos de papel foi diferente nas duas situações? Explique.

b. Cite os fenômenos físicos que permitem elaborar uma explicação para essa experiência.

2. Uma esfera condutora está carregada com 5 C de carga elétrica. Nessa esfera, há excesso ou falta de elétrons? Quantos elétrons faltam ou sobram nela?

2. Falta. $3{,}125 \cdot 10^{19}$ elétrons

3. (UFRGS-RS) Uma carga negativa Q é aproximada de uma esfera condutora isolada, eletricamente neutra. A esfera é, então, aterrada com um fio condutor.

Indique a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado a seguir, na ordem em que aparecem.

Se a carga Q for afastada para bem longe enquanto a esfera está aterrada, e, a seguir, for desfeito o aterramento, a esfera ficará [redacted].

Por outro lado, se primeiramente o aterramento for desfeito e, depois, a carga Q for afastada, a esfera ficará [redacted].

3. Alternativa **a**.

a. eletricamente neutra – positivamente carregada

b. eletricamente neutra – negativamente carregada

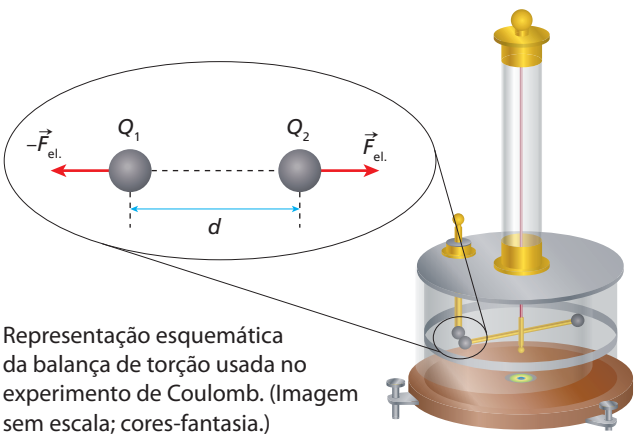
c. positivamente carregada – eletricamente neutra

d. positivamente carregada – negativamente carregada

e. negativamente carregada – positivamente carregada

Força entre cargas elétricas e a lei de Coulomb

Quando íons se movimentam como resultado de atrações ou repulsões elétricas, podemos reconhecer a ação de uma força, a **força elétrica** $\left(\vec{F}_{el.}\right)$.



Representação esquemática da balança de torção usada no experimento de Coulomb. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Para compreendermos como as partículas ficam sujeitas a essa força elétrica, vamos considerar um caso menos complexo, analisando a interação entre duas cargas elétricas pontuais isoladas.

Para realizar esse estudo, o físico francês Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) analisou a intensidade da força de repulsão entre cargas elétricas por meio de um experimento usando uma balança de torção, como mostra a figura.

Por causa da força elétrica entre as esferas, a haste que está suspensa por um fio gira, provocando nele uma torção. Assim, medindo o ângulo de torção, é possível determinar a força entre as esferas. Coulomb concluiu que a intensidade da força elétrica ($F_{el.}$) era inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as duas esferas carregadas.

$$F_{el.} \propto \frac{1}{d^2}$$

Ele, também concluiu que a intensidade da força elétrica era proporcional ao valor da carga elétrica nas esferas.

$$F_{el.} \propto |Q_1| \text{ e } F_{el.} \propto |Q_2|$$

Com base nesses resultados experimentais, Coulomb enunciou a seguinte lei, hoje conhecida como **lei de Coulomb**.

Duas cargas puntiformes de intensidades Q_1 e Q_2, separadas de uma distância (d) em determinado meio material, exercem forças elétricas mútuas cuja intensidade é dada por:

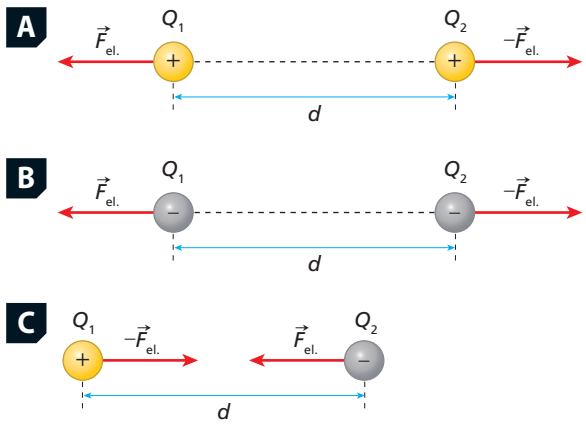
$$F_{el.} = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

Nessa expressão, k é uma constante de proporcionalidade denominada **constante eletrostática** que varia com o meio material onde estão as cargas.

No vácuo, temos $k = k_0 = 9 \cdot 10^9$ N $\cdot$ m^2/C^2. No SI, a força é dada em newton (N).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No entanto, não podemos esquecer que força é uma grandeza vetorial. A força elétrica tem uma direção que coincide com a reta que liga as cargas elétricas envolvidas e seu sentido é determinado pelo sinal das cargas elétricas, isto é, cargas elétricas de mesmo sinal se repelem (figuras A e B) e cargas elétricas de sinais opostos se atraem (figura C).

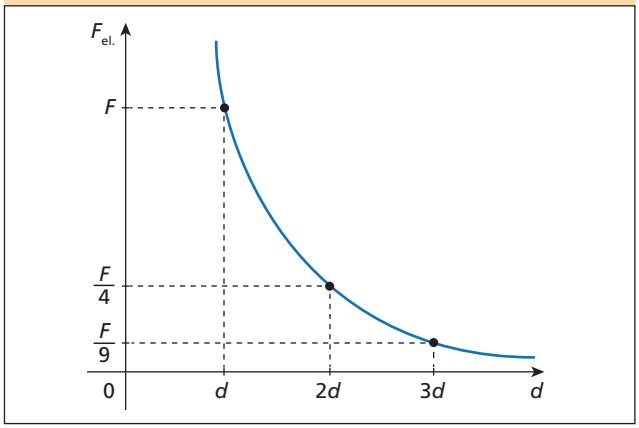


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da direção e do sentido das forças de interação entre **(A)** duas cargas elétricas positivas (que se repelem); **(B)** duas cargas elétricas negativas (que se repelem); **(C)** duas cargas elétricas de sinais opostos (que se atraem). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A relação entre a intensidade da força elétrica ($F_{el.}$) e a distância (d) entre duas cargas puntiformes pode ser representada como no gráfico a seguir.

Gráfico de $F_{el.} \times d$



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

A intensidade da força elétrica $F_{el.}$ é inversamente proporcional ao quadrado da distância d entre as duas cargas elétricas. (Imagem sem escala.)

Relação entre a intensidade da força elétrica e a distância entre duas cargas puntiformes

Distância	Força elétrica
d	F
$2d$	$\frac{F}{4}$
$3d$	$\frac{F}{9}$

Exemplo

Considere o íon de sódio Na^+ e o íon de cloro $C\ell^-$. A atração entre esses dois íons, que formam o sal de cozinha, pode ser calculada por meio da lei de Coulomb. Considere que os dois íons estejam a uma distância de $3 \cdot 10^{-10}$ m. Como a carga de ambos tem o mesmo módulo, que é igual ao módulo da carga do elétron, qual é a intensidade da força elétrica entre eles

Da lei de Coulomb:

$$F_{el.} = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{el.} = 9{,}0 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2 \cdot \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C}{(3 \cdot 10^{-10}\ m)^2}$$

$$\therefore F_{el.} = 2{,}56 \cdot 10^{-9}\ N$$

Esse valor de intensidade da força pode parecer pequeno, mas é essa força que atrai os íons, mantendo-os coesos e formando os cristais de sal de cozinha.

Fique por dentro

Forças elétricas entre cargas pontuais

BARLOW, M. *et al*. Lei de Coulomb. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/coulombs-law/. Acesso em: 21 set. 2024.

Nesse *site* é possível simular a interação entre cargas elétricas e estudar a lei de Coulomb por meio de um laboratório virtual.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

EM FOCO

Teorias de unificação das forças e aceleradores de partículas na pesquisa científica de ponta

A semelhança matemática entre a lei de Coulomb e a lei da gravitação universal de Newton levou cientistas a considerarem a hipótese de que ambas poderiam ser manifestações de uma força ainda mais fundamental. Essa é a ideia básica da teoria da grande unificação, que pressupõe que a dinâmica das forças fundamentais de diferentes naturezas pode ser explicada por uma única estrutura teórica.

Atualmente, muitas pesquisas buscam validar teorias de unificação, como a teoria das cordas, segundo a qual todas as partículas subatômicas são, ou se comportam como se fossem, cordas unidimensionais muito pequenas, que vibram em diferentes frequências. Essa teoria prevê a existência de uma nova força fundamental que une a gravitação e a eletricidade. No entanto, a teoria das cordas ainda está em desenvolvimento e carece de evidências experimentais.

Embora não existam evidências experimentais que suportem plenamente essas teorias, elas representam uma área ativa de pesquisa em universidades e centros de pesquisa ao redor do mundo. Muitas das pesquisas, que lidam com elementos de Física de alta complexidade teórica e experimental, são desenvolvidas em aceleradores de partículas, máquinas altamente especializadas em que são estudadas interações entre partículas subatômicas. Esses dispositivos permitiram a identificação e a caracterização de muitas partículas desconhecidas, como o bóson de Higgs, que faz a mediação das interações no interior dos átomos. A identificação do bóson de Higgs rendeu aos pesquisadores François Englert (1932-) e Peter W. Higgs (1929-2024) o Prêmio Nobel de Física em 2013.

O maior e principal acelerador de partículas do mundo atualmente é o Grande Colisor de Hádrons (*Large Hadron Collider*, LHC, na sigla em inglês), localizado na Suíça. No Brasil, o principal acelerador de partículas é o Sirius, localizado em Campinas (SP), em atividade desde 2019. Financiado e mantido pelo governo federal brasileiro, o Sirius é o maior investimento em ciência da história do país e rapidamente se tornou o principal centro de pesquisas acadêmicas e industriais de ponta. As pesquisas realizadas nos aceleradores de partículas têm aplicações nas áreas da saúde, Biotecnologia, Química, Geofísica, Gestão de recursos naturais, energias renováveis e Paleontologia, entre outras.

> O tubo da televisão [analógica] é o exemplo mais simples de um acelerador de partículas. Um feixe de elétrons é gerado [...] na parte mais fina do tubo e os elétrons são acelerados e focalizados por campos elétricos até atingirem a tela. Mas esse não é o único exemplo de acelerador de partículas com aplicações práticas. Em muitos hospitais, há aceleradores para esterilizar roupas e equipamentos. Esse tipo de esterilização é usado também para aumentar a durabilidade de frutas. [...]

Fonte: SHELLARD, R. C. Como funcionam e para que servem os aceleradores de partículas? **Ciência Hoje**, [*S. l.*], ago. 2006. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/artigo/como-funcionam-e-para-que-servem-os-aceleradores-de-particulas/. Acesso em: 21 set. 2024.

1. De acordo com o texto, que aspecto das forças de diferentes naturezas permitiram considerar a hipótese de unificação das forças?
1. O comportamento semelhante de forças de diferentes naturezas.
2. O que a teoria das cordas afirma sobre o comportamento das partículas subatômicas?
2. Que as partículas subatômicas se comportam como cordas vibrantes, que vibram em diferentes frequências.
3. O uso dos aceleradores de partículas é restrito aos espaços de desenvolvimento de pesquisa científica de ponta? Explique.
3. Não. Têm aplicações tecnológicas no desenvolvimento de dispositivos de uso cotidiano.
4. Em sua opinião, os centros de pesquisas são importantes para o desenvolvimento científico e tecnológico do país? Qual é a justificativa e a importância do financiamento público nesse tipo de iniciativa? Discuta com os colegas e anote as conclusões do grupo. 4. Resposta pessoal.

Fique por dentro

Visita virtual ao acelerador Sirius

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. CNPEM. **CNPEM 360**. Brasília, DF: MCTI/CNPM, 2023. Disponível em: https://pages.cnpem.br/cnpem360/. Acesso em: 1 ago. 2024.

A plataforma do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) disponibiliza uma visita virtual ao Sirius, com acesso exclusivo à infraestrutura interna e aos ambientes restritos por meio de fotografias panorâmicas e pontos de interação multimídia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Campo elétrico

Relâmpagos podem ser um fenômeno ao mesmo tempo belo e assustador. Antes da invenção dos para-raios, por Benjamin Franklin, na década de 1750, relâmpagos eram temidos por provocarem incêndios. Atualmente, eles ainda são uma das causas de incêndios florestais. Isso pode acontecer porque o relâmpago é uma descarga elétrica entre uma nuvem carregada e o solo, ou entre regiões diferentemente carregadas dentro da própria nuvem.

RENATOPMEIRELES/SHUTTERSTOCK

Relâmpagos são fenômenos de origem elétrica (Niterói, RJ, 2020).

Em algumas situações, o ar entre a nuvem e o solo age como um isolante. Mas, como estudaremos a seguir, a carga elétrica cria ao seu redor um campo elétrico. Se o campo elétrico na região entre a nuvem e o solo for muito intenso, uma descarga elétrica pode acontecer e essa região pode, por um breve intervalo de tempo, tornar-se condutora.

De acordo com a lei de Coulomb, as cargas elétricas interagem sem que haja contato entre elas. Isso também ocorre com a força gravitacional: quando soltamos um objeto a uma determinada altura, por exemplo, ele é atraído pela Terra sem que haja contato entre os corpos.

A dificuldade em aceitar que uma partícula possa exercer uma força em outra partícula distante, sem existir contato entre elas, foi superada com a introdução do conceito de campo de força. No caso da força gravitacional, o campo mediador dessa interação é o campo gravitacional, e, no caso da força elétrica, o campo mediador é o **campo elétrico**.

Portanto, uma carga elétrica gera um campo elétrico que é capaz de interagir com outra carga elétrica de modo que se estabeleça uma força elétrica entre as cargas.

Ao colocarmos uma carga de prova em uma região em que há um campo elétrico, essa carga ficará sujeita a uma força elétrica de atração ou de repulsão. Para obter a intensidade do campo elétrico na região, vamos considerar as cargas de prova q_A, q_B e q_C, que podem ser iguais ou não, e que estão a uma mesma distância de uma carga Q. Sobre as cargas de prova agem as forças elétricas $\vec{F}_{el.(A)}$, $\vec{F}_{el.(B)}$, $\vec{F}_{el.(C)}$, respectivamente, como representado a seguir.

Se efetuarmos a razão entre a força elétrica e a carga que recebe a ação da força, vamos verificar que se trata de um valor constante, que define o vetor campo elétrico ($\vec{E}$) naquele ponto.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el.(A)}}{q_A} = \frac{\vec{F}_{el.(B)}}{q_B} = \frac{\vec{F}_{el.(C)}}{q_C} \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}_{el.}}{q}$$

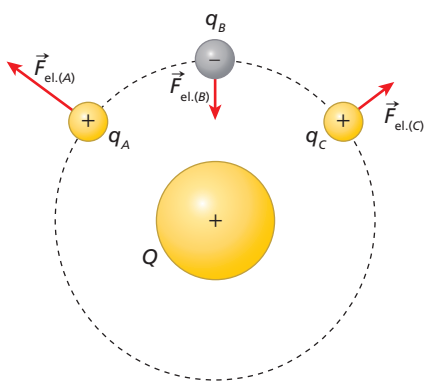
Por meio dessa equação podemos também determinar a força elétrica.

$$\vec{F}_{el.} = q \cdot \vec{E}$$

Se quisermos obter o valor da intensidade do campo elétrico (E), podemos fazer:

$$E = \frac{F_{el.}}{|q|}$$

No SI, a unidade de medida associada à grandeza força é o newton (N) e a associada à grandeza carga elétrica é o coulomb (C). Assim, N/C é a unidade de medida da intensidade do campo elétrico no SI.



ERICSON GUILHERME LUCIANO /ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das cargas de prova q_A, q_B e q_C a uma mesma distância da carga geradora do campo elétrico Q. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fique por dentro

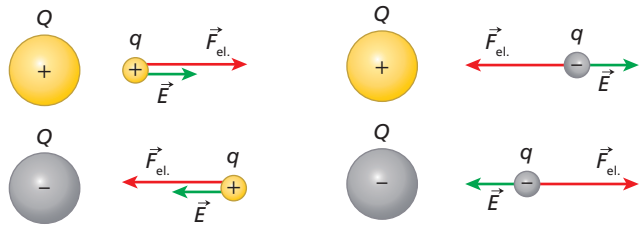
Eletricidade e tempestades

SABA, M. M. F. A Física das tempestades e dos raios. **Física na Escola**, [*S. l.*], v. 2, n. 1, 2001. Disponível em: https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol02-Num1/raios1.pdf. Acesso em: 21 set. 2024.

O artigo discute questões e dúvidas frequentes sobre o tema, incluindo explicações sobre o papel das cargas elétricas e das interações entre elas nos processos de eletrificação das nuvens e de formação de relâmpagos e descargas elétricas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em cargas de prova positivas, a força elétrica e o campo elétrico possuem a mesma direção e o mesmo sentido. Em cargas de prova negativas, eles possuem a mesma direção e sentidos opostos. A figura a seguir resume as direções dos vetores $\vec{F}_{el.}$ e $\vec{E}$ dependendo das cargas elétricas.



Representações esquemáticas do sentido dos vetores campo elétrico e força elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Campo elétrico gerado por cargas elétricas puntiformes

Podemos utilizar a lei de Coulomb para obter o campo elétrico gerado por uma carga puntiforme. Considere uma carga elétrica pontual Q e que, a uma distância d dessa carga, uma carga de prova q fique sujeita a uma força elétrica com intensidade igual a:

$$F_{el.} = k \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$$

Substituindo essa expressão na equação para a intensidade do campo elétrico, temos:

$$E = \frac{F_{el.}}{|q|} \Rightarrow E = \frac{k \cdot \dfrac{|Q| \cdot |q|}{d^2}}{|q|} \Rightarrow E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

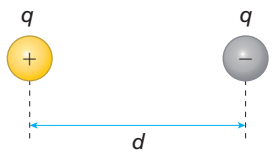
Note que a expressão obtida mostra que a intensidade do campo gerado por uma carga elétrica pontual é diretamente proporcional ao valor da carga geradora e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

No caso da presença de várias cargas elétricas geradoras, o campo elétrico resultante na região é dado pela soma vetorial dos campos no ponto considerado.

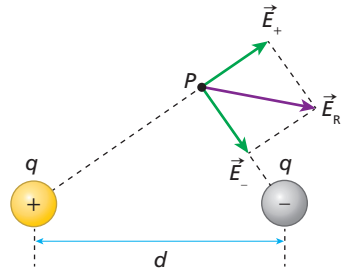
Considere um par de cargas elétricas puntiformes fixas de mesma intensidade q, de sinais contrários e separadas por uma distância d finita; a esse sistema damos o nome de **dipolo elétrico**. Um exemplo é um par de íons Na^+ e $C\ell^-$.

Nesse caso, cada íon cria um campo elétrico em um ponto P como se estivesse isolado na região, ou seja, independentemente da outra carga. Esse conceito é denominado **princípio da superposição**. Portanto, para obtermos o campo resultante no ponto P, devemos realizar a soma vetorial dos campos elétricos gerados por cada íon, como indica a figura a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um dipolo elétrico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



Representação esquemática dos vetores campo elétrico $\left(\vec{E}_+ \text{ e } \vec{E}_-\right)$ gerado pelo par de íons Na^+ e $C\ell^-$ em um ponto P e o campo elétrico resultante $\left(\vec{E}_R\right)$. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

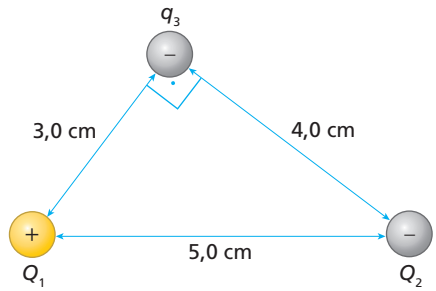
De forma geral, podemos escrever o campo elétrico resultante $\left(\vec{E}_R\right)$ em um determinado ponto devido a um conjunto de cargas elétricas como:

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_n$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Considere duas bolinhas que possuem carga elétrica $Q_1 = 13{,}0$ nC e $Q_2 = -13{,}0$ nC. Em seguida, elas são separadas por uma distância de 5,0 cm, em uma região que podemos considerar vácuo; logo, $k = k_0 = 9{,}0 \cdot 10^9\ \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. Nessa situação, coloca-se uma carga de prova com $q_3 = -3{,}0$ nC em um ponto a 3,0 cm da bolinha carregada positivamente e a 4,0 cm da bolinha carregada negativamente.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das cargas elétricas no vácuo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Qual é a intensidade do campo elétrico resultante no ponto em que se encontra a carga de prova (q_3)? Esse valor depende da carga de prova?

No ponto em que está a carga de prova, temos o campo resultante (E_R).

Calculando as intensidades (E_+ e E_-) dos campos elétricos, temos:

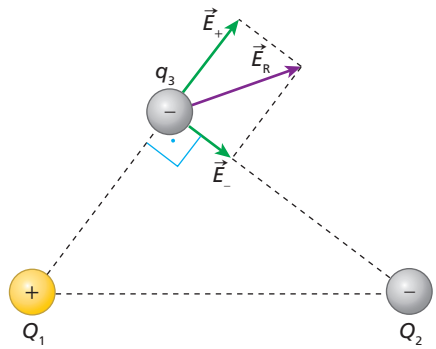
$$E_+ = k \cdot \frac{|Q_1|}{d^2} \Rightarrow E_+ = 9{,}0 \cdot 10^9\,\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{13{,}0 \cdot 10^{-9}\,\text{C}}{(3{,}0 \cdot 10^{-2}\,\text{m})^2}$$

$$\therefore E_+ = 13{,}0 \cdot 10^4\,\text{N/C}$$

$$E_- = k \cdot \frac{|Q_1|}{d^2} \Rightarrow E_- = 9{,}0 \cdot 10^9\,\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{13{,}0 \cdot 10^{-9}\,\text{C}}{(4{,}0 \cdot 10^{-2}\,\text{m})^2}$$

$$\therefore E_- \simeq 7{,}3 \cdot 10^4\,\text{N/C}$$

O vetor campo elétrico resultante $\left(\vec{E}_R\right)$ em P é a soma vetorial dos campos elétricos calculados. No ponto onde está a carga de prova, os campos elétricos calculados formam um triângulo retângulo; assim, o módulo do vetor resultante, que é igual à intensidade do campo elétrico resultante, pode ser calculado pelo teorema de Pitágoras.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do campo resultante na posição da carga q_3. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

$$E_R = \sqrt{E_+^2 + E_-^2} \Rightarrow E_R = \sqrt{(13{,}0 \cdot 10^4\,\text{N/C})^2 + (7{,}3 \cdot 10^4\,\text{N/C})^2}$$

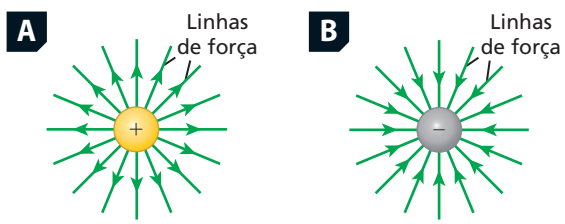
$$\therefore E_R \simeq 15{,}0 \cdot 10^4\,\text{N/C}$$

Portanto, o campo elétrico resultante depende apenas das cargas elétricas geradoras do campo.

Linhas de força

Podemos usar uma representação gráfica para visualizar a variação contínua do campo elétrico em termos de **linhas de força**, partindo das cargas, como representado nas figuras a seguir.

Dessa forma, as linhas de força de um campo elétrico são tangentes à direção do campo elétrico em cada ponto da região, sendo divergentes para a carga elétrica positiva e convergentes para a carga elétrica negativa.

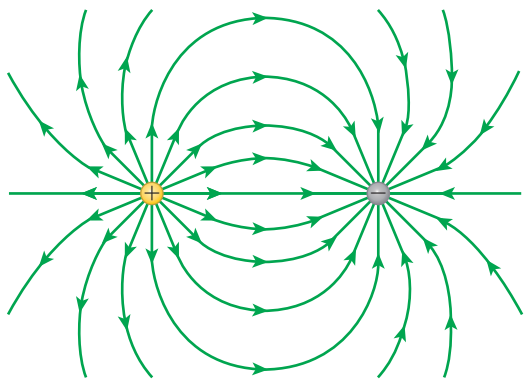


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática **(A)** das linhas de força em torno de uma carga elétrica positiva ($+q$) e **(B)** das linhas de força em torno de uma carga elétrica negativa ($-q$). (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

As linhas de força são um recurso imaginado pelo cientista inglês Michael Faraday (1791-1867) para visualizar o campo elétrico, sendo muito útil na investigação de sistemas complexos de cargas elétricas. A figura a seguir, por exemplo, representa as linhas de força obtidas para o dipolo elétrico.

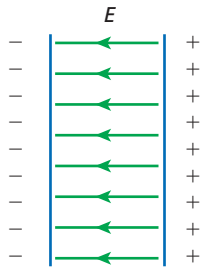
Note que as linhas de força dessa distribuição são mais concentradas onde o campo elétrico é mais intenso e mais espaçadas onde a intensidade do campo elétrico diminui.


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das linhas de força para um dipolo elétrico. As linhas de força em um dipolo saem da carga positiva e entram na carga negativa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática de um campo elétrico uniforme entre duas placas planas e paralelas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Campo elétrico uniforme

Considere duas placas planas e paralelas que têm cargas elétricas de sinais opostos e estão separadas por uma pequena distância, quando comparada ao tamanho das placas. Como a distribuição de cargas, nesse caso, se dá ao longo de toda a placa, não podemos utilizar um modelo de cargas puntiformes como vínhamos fazendo. O campo gerado por uma distribuição de cargas planas e paralelas é um campo elétrico uniforme, isto é, possui mesma intensidade, direção e sentido em todos os pontos dessa região.

Exemplo

Considere que a intensidade do campo elétrico no interior de duas placas seja $1{,}0 \cdot 10^7$ N/C. Qual é a intensidade da força elétrica que atua sobre um íon com carga elétrica $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C ao ser colocado entre essas placas?

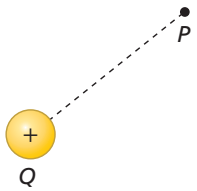
A intensidade da força elétrica é dada por:

$$F = |q| \cdot E \Rightarrow F = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 1{,}0 \cdot 10^7\ \text{N/C} \therefore F = 1{,}6 \cdot 10^{-12}\ \text{N}$$

ATIVIDADE COMENTADA

Uma partícula eletrizada com carga elétrica $Q = +12{,}0$ μC encontra-se isolada de outras cargas, no vácuo. Caracterize o campo elétrico (em orientação e intensidade) em um ponto *P* situado a 30,0 cm dessa partícula.

Adote $k = 9{,}0 \cdot 10^9$ N · m²/C².



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma partícula eletrizada com carga elétrica *Q*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Analisar o enunciado

O enunciado pede a caracterização do campo elétrico, ou seja, além da intensidade, é necessário determinar sua direção e seu sentido por meio de uma representação esquemática.

Selecionar as informações relevantes

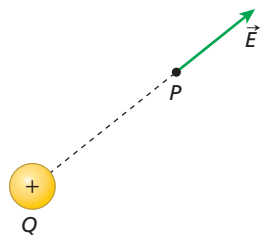
A intensidade do campo elétrico em *P* é igual ao valor do campo gerado pela carga pontual *Q* nesse ponto. O vetor que indica a direção e o sentido do campo elétrico pode ser determinado a partir da reta que une a carga ao ponto *P*. O enunciado fornece, ainda, o valor da carga *Q* e a distância *d* entre a carga *Q* e o ponto *P*. Considerando os valores das grandezas em unidades do SI, temos:

$$Q = 12{,}0\ \mu\text{C} = 12{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{C}$$

$$d = 30{,}0\ \text{cm} = 0{,}3\ \text{m} = 3{,}0 \cdot 10^{-1}\ \text{m}$$

Aplicar o conceito estudado

A direção do vetor campo elétrico é a mesma da reta que une a carga ao ponto *P*. Como a carga elétrica da partícula é positiva, o campo gerado em *P* tem sentido de afastamento em relação à carga fonte *Q*.



Representação esquemática de uma partícula eletrizada com carga elétrica *Q* e do vetor campo elétrico $\vec{E}$ no ponto *P*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

A intensidade do campo elétrico é dada por $E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2}$.

Aplicando os valores conhecidos, temos:

$$E = k \cdot \frac{|Q|}{d^2} \Rightarrow E = 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \frac{12{,}0 \cdot 10^{-6}}{(3{,}0 \cdot 10^{-1})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \frac{12{,}0 \cdot 10^{-6}}{9{,}0 \cdot 10^{-2}}$$

$$\therefore E = 12{,}0 \cdot 10^5\ \text{N/C ou } E = 1{,}2 \cdot 10^6\ \text{N/C}$$

Verificar a solução

Conforme inferimos, o campo elétrico no ponto *P* possui a mesma direção da reta que une a carga *Q* ao ponto *P*, e sentido de afastamento em relação a *Q*, já que a carga de *Q* é positiva. Sabemos que a intensidade do campo elétrico é inversamente proporcional ao quadrado da distância, ou seja, se aumentarmos a distância entre o ponto *P* e a carga *Q*, a intensidade do campo cairia de maneira quadrática. De forma análoga, caso o ponto *P* tivesse sua distância em relação à carga *Q* reduzida, a intensidade do campo aumentaria também de maneira quadrática.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Duas cargas elétricas pontuais, Q_1 e Q_2, separadas por uma distância d, estão sob a ação de uma força elétrica de atração de intensidade F. Qual será a nova intensidade da força elétrica no caso de:

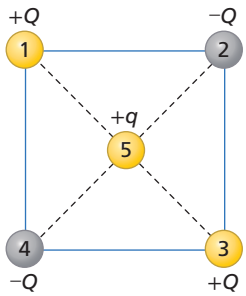
a. triplicar o valor da carga elétrica Q_1 e também a distância entre as cargas elétricas?

4. a. $\frac{1}{3}$ da intensidade original.

b. quadruplicar o valor da carga elétrica Q_1, dobrar o valor da carga elétrica Q_2 e triplicar a distância d?

4. b. $\frac{8}{9}$ da intensidade original.

5. Quatro esferas de tamanhos desprezíveis, eletrizadas com cargas de módulo Q, foram fixadas nos vértices de um quadrado cuja diagonal mede $2d$. As esferas 1 e 3 têm cargas elétricas positivas ($+Q$) e as esferas 2 e 4 têm cargas elétricas negativas ($-Q$). No centro do quadrado, foi fixada uma quinta esfera, idêntica às demais, com carga elétrica positiva $+q$.



Representação esquemática da disposição das cinco esferas eletrizadas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

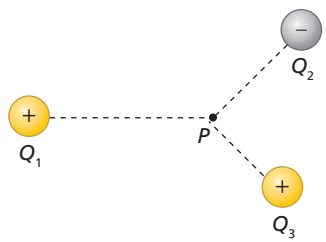
5. a. No diagrama, as forças nas esferas $+Q$ apontam para fora e no sentido das linhas que as conectam a $+q$. Nas esferas $-Q$ as forças apontam para dentro.

a. Faça um diagrama representando todas as forças elétricas atuantes na carga de número 5.

b. Determine a força elétrica resultante sobre a carga 5.

5. b. Nula.

6. Copie a figura a seguir em seu caderno e represente os três vetores campo elétrico gerados no ponto P devido a cada uma das cargas elétricas (Q_1, Q_2 e Q_3).



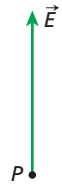
Representação esquemática das cargas elétricas Q_1, Q_2 e Q_3 em relação ao ponto P. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

7. Em um ponto P de um campo elétrico o vetor campo elétrico $\vec{E}$ tem intensidade $3{,}0 \cdot 10^5$ N/C, direção e sentido representados na figura.

Considere que uma carga elétrica $q = 2{,}0$ μC é colocada em P. Dê as características do vetor força elétrica (intensidade, direção e sentido) que age na carga q.

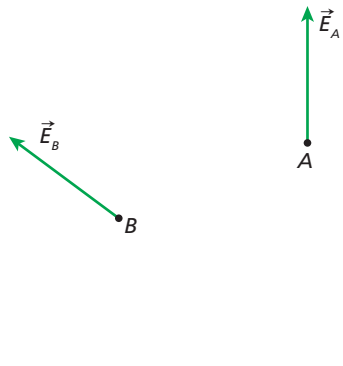
7. Intensidade: $6{,}0 \cdot 10^{-1}$ N. Direção: norte – sul. Sentido: sul – norte.



Representação esquemática do vetor campo elétrico $\vec{E}$ no ponto P.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

8. Uma partícula eletrizada Q gera no espaço em torno dela um campo elétrico. Representamos, nos pontos A e B, os vetores campo elétrico gerados por essa carga fonte.



Representação esquemática dos vetores campo elétrico gerados pela partícula eletrizada nos pontos A e B.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

8. a. Na intersecção das retas suportes dos campos elétricos A e B.

a. Determine, graficamente, a posição da carga fonte Q.

b. Qual é o sinal da carga fonte Q? 8. b. Positivo.

c. Copie o esquema apresentado em seu caderno e faça a representação do vetor campo elétrico no ponto C.

8. c. Será horizontal e de afastamento em relação à carga C.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Trabalho da força elétrica

6. O vetor campo elétrico tem a direção da reta que une a carga ao ponto e tem sentido de afastamento em relação à carga positiva e de aproximação para a carga negativa.

Vamos considerar uma carga q que se desloca de uma distância d paralela a um campo elétrico uniforme. Logo, ela está sujeita a uma força elétrica constante, cujo trabalho é dado por:

$$\tau_{F_{el.}} = F_{el.}\, d \Rightarrow \tau_{F_{el.}} = q \cdot E \cdot d$$

No entanto, se uma carga q se move em um campo elétrico não constante criado por uma carga puntiforme Q, o **trabalho da força elétrica** no deslocamento entre as posições d_A e d_B é dado por:

$$\tau_{F_{el.}} = q \cdot \left(k \cdot \frac{Q}{d_A} - k \cdot \frac{Q}{d_B}\right)$$

A unidade de medida para o trabalho de uma força, no SI, é o joule (J).

Potencial eletrostático e diferença de potencial

O conceito de diferença de potencial consiste em calcular o trabalho realizado pela força elétrica por unidade de carga durante o deslocamento dessa carga entre dois pontos. Assim, a **diferença de potencial eletrostático (ddp)** entre dois pontos, *A* e *B*, que indicamos como $V_A - V_B$ ou simplesmente *U*, também conhecida por **voltagem** ou **tensão elétrica**, é definida como:

$$U = \frac{\tau_{F_{el.}}}{q}$$

Note que a unidade de medida de ddp é dada por J/C, que no SI corresponde a V (volt), ou seja, 1 V = 1 J/C.

Considerando que esse deslocamento ocorre no sentido do campo elétrico em uma região cujo campo elétrico é uniforme, temos:

$$U = \frac{\tau_{F_{el.}}}{q} \Rightarrow U = \frac{q \cdot E \cdot d}{q} \Rightarrow U = E \cdot d$$

Já para o deslocamento de uma carga elétrica *q* em uma região cujo campo elétrico foi gerado por uma carga puntiforme *Q*, temos:

$$U = \frac{\tau_{F_{el.}}}{q} \Rightarrow U = \frac{q \cdot \left(k \cdot \frac{Q}{d_A} - k \cdot \frac{Q}{d_B}\right)}{q} \Rightarrow U = \left(k \cdot \frac{Q}{d_A} - k \cdot \frac{Q}{d_B}\right)$$

Sendo $U = \left(k \cdot \frac{Q}{d_A} - k \cdot \frac{Q}{d_B}\right)$ uma diferença entre termos, podemos entender cada um deles como os potenciais elétricos dos pontos *A* e *B* do campo elétrico. Assim, a todo ponto *P* de um campo elétrico criado por uma carga elétrica (*Q*) puntiforme a uma distância d_P atribui-se um **potencial elétrico** (V_P), dado por:

$$V_P = k \cdot \frac{Q}{d_P}$$

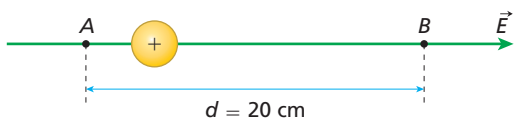
Note que o potencial elétrico em um ponto existe independentemente da carga de prova *q*, mas depende de um referencial adotado para a sua medida, no caso, a carga geradora do campo elétrico. Perceba também que, se $Q > 0$, o potencial elétrico será positivo, e, se $Q < 0$, o potencial elétrico será negativo.

O potencial elétrico em um ponto gerado por várias cargas puntiformes é a soma algébrica dos potenciais gerados individualmente por essas cargas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Exemplo

Uma partícula com carga elétrica positiva $Q = 1{,}5$ C foi abandonada em uma região imersa em um campo elétrico uniforme de intensidade $E = 2{,}0 \cdot 10^3$ N/C e se move de um ponto *A* até um ponto *B*, percorrendo uma distância $d = 20{,}0$ cm. Qual é a diferença de potencial entre o ponto final e o ponto inicial do percurso?



Representação esquemática de uma partícula com carga positiva imersa em um campo elétrico uniforme e se movimentando de *A* até *B*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

A diferença de potencial entre dois pontos, *A* e *B*, em um campo uniforme é dada por:

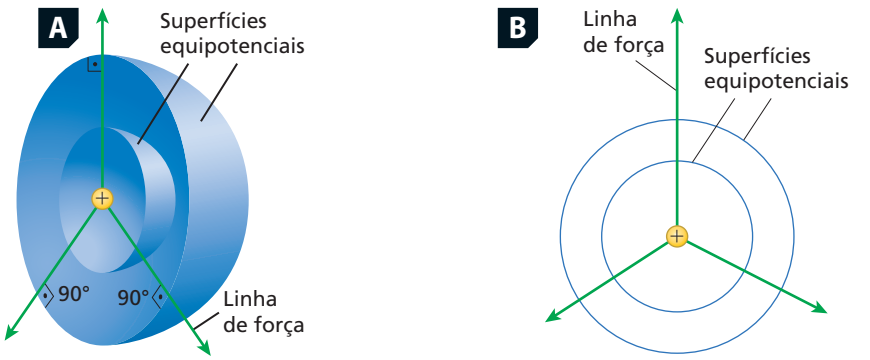
$$U = V_A - V_B = E \cdot d \Rightarrow U = 2{,}0 \cdot 10^3 \text{ N/C} \cdot 0{,}2 \text{ m} \therefore U = 400{,}0 \text{ N} \cdot \text{m/C}$$

Lembrando que 1 N · m = 1 J e 1 V = 1 J/C, temos: $U = 400{,}0$ V

Superfícies equipotenciais

As **superfícies equipotenciais** são regiões do campo elétrico que têm o mesmo potencial. Essas superfícies facilitam a visualização da distribuição de carga. As linhas de campo elétrico e as superfícies equipotenciais são sempre perpendiculares.

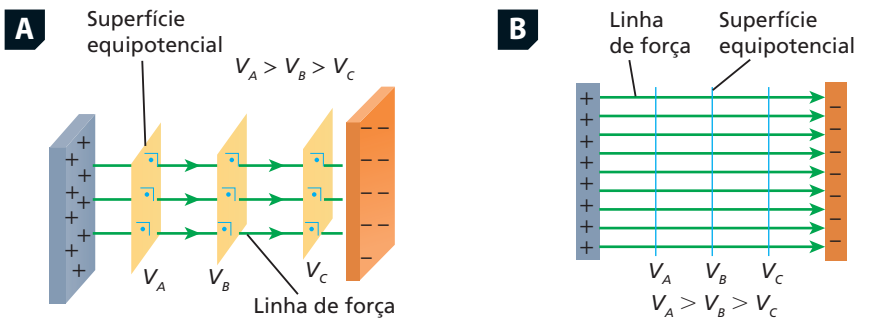
Quando tratamos do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme e analisamos a expressão do potencial elétrico de um ponto a certa distância da carga, concluímos que todos os pontos a uma mesma distância da carga apresentam o mesmo potencial; logo, formam uma superfície equipotencial que, no espaço tridimensional, é uma superfície esférica (figura A) e, no espaço bidimensional, um círculo (figura B). Nesse caso, quanto mais longe da carga, menor é o potencial.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação tridimensional de superfícies equipotenciais de um campo radial gerado por uma carga puntiforme positiva. **(B)** Representação bidimensional de superfícies equipotenciais de um campo radial gerado por uma carga puntiforme positiva. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

No caso do campo elétrico uniforme criado por placas paralelas eletrizadas, as superfícies equipotenciais são planos paralelos entre si e paralelos às placas.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação tridimensional de superfícies equipotenciais de um campo uniforme criado por placas paralelas eletrizadas. **(B)** Representação bidimensional de superfícies equipotenciais de um campo uniforme criado por placas paralelas eletrizadas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Energia potencial eletrostática

A energia proveniente da posição de q no campo elétrico é chamada de **energia potencial eletrostática** ($E_{p\,el.}$).

Vamos definir essa energia considerando uma carga elétrica sob a ação de um campo elétrico uniforme. Desse modo, a energia potencial eletrostática é igual ao trabalho da força elétrica; portanto, no caso de um campo uniforme, temos:

$$E_{p\,el.} = \tau_{F_{el.}} = q \cdot E \cdot d$$

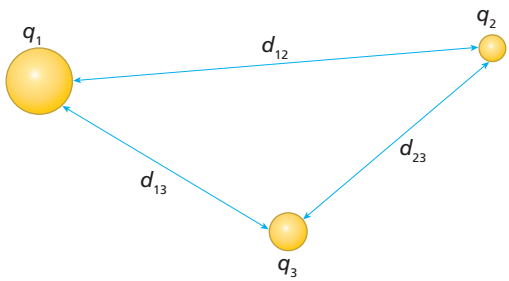
E, no caso de um campo não uniforme, temos:

$$E_{p\,el.} = \tau_{F_{el.}} = k \cdot \frac{Q \cdot q}{d}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No caso de um sistema de cargas puntiformes, a energia potencial eletrostática é a soma algébrica de todas as energias potenciais geradas pelos pares de cargas do sistema. Assim, no exemplo da figura a seguir, encontramos que a energia potencial eletrostática do sistema é dada por:

$$E_{p\,el.} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_{12}} + k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{d_{23}} + k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{d_{13}}$$



Representação esquemática da configuração de um sistema de cargas no espaço. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

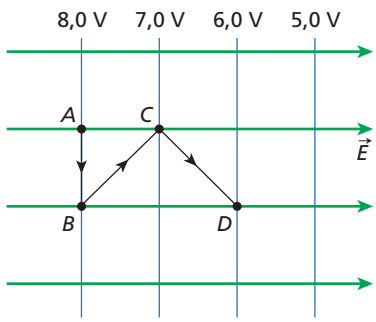
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

9. Considere a figura seguir, na qual está representado um campo elétrico uniforme por suas de linhas de força e respectivas equipotenciais. Uma partícula eletrizada com uma carga positiva $q = +2{,}5$ nC estava, inicialmente, em repouso no ponto *A*, quando um operador passou a deslocá-la pela trajetória *ABCD*, terminando por fixá-la no ponto *D*.



Representação esquemática da trajetória *ABCD* da partícula eletrizada em um campo elétrico uniforme. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

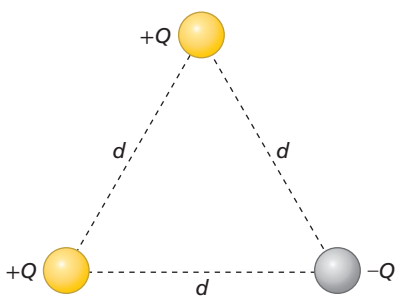
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Determine o trabalho da força elétrica nos deslocamentos:

a. de *A* até *B*; 9. a. 0

b. de *B* até *D*. 9. b. 5 nJ

10. Para um par de cargas elétricas positivas e idênticas iguais a *Q*, separadas por uma distância *d*, a energia potencial eletrostática é igual a 10 J. A figura mostra três cargas elétricas, de valores iguais a (+*Q*), (−*Q*) e (+*Q*), dispostas nos vértices de um triângulo equilátero de lado igual a *d*. Considere que (+*Q*) seja uma carga elétrica positiva e que (−*Q*) seja uma carga elétrica negativa. 10. −10 J



Representação esquemática da configuração do sistema de cargas elétricas positivas e idênticas *Q*, separadas por uma distância *d*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Qual é a energia potencial eletrostática do sistema formado pelas três cargas elétricas?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Fuvest-SP) Dois balões negativamente carregados são utilizados para induzir cargas em latas metálicas, alinhadas e em contato, que, inicialmente, estavam eletricamente neutras.

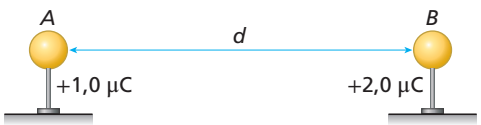
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Conforme mostrado na figura, os balões estão próximos, mas jamais chegam a tocar as latas. Nessa configuração, as latas 1, 2 e 3 terão, respectivamente, carga total: 1. Alternativa **d**.

a. 1: zero; 2: negativa; 3: zero.
b. 1: positiva; 2: zero; 3: positiva.
c. 1: zero; 2: positiva; 3: zero.
d. 1: positiva; 2: negativa; 3: positiva.
e. 1: zero; 2: zero; 3: zero.

2. Considere três esferas condutoras isoladas, C_1, C_2 e C_3, idênticas. Inicialmente, a esfera C_1 está carregada com carga Q, enquanto as esferas C_2 e C_3 são neutras. Descreva as possíveis interações entre as esferas, de forma que, após essas interações, a esfera C_1 apresente carga $\frac{Q}{2}$ e as esferas C_2 e C_3 adquiram carga $\frac{Q}{4}$. 2. Colocar em contato C_1 e C_2 e, depois, C_2 e C_3.

3. A figura a seguir apresenta duas esferas muito pequenas e leves distantes entre si 2,0 m. O meio onde a experiência é realizada é o vácuo, cuja constante eletrostática tem valor $k = 9{,}0 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$.



Representação esquemática de duas esferas, *A* e *B*, separadas por uma distância $d = 2{,}0$ m. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

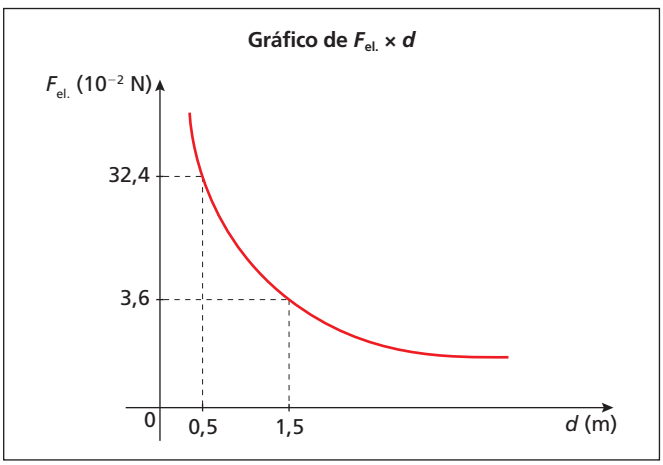
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Nessas circunstâncias, determine:

a. em qual das esferas a força elétrica é mais intensa; 3. a. A intensidade da força é igual nas duas esferas.
b. a intensidade da força elétrica *F*. 3. b. $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ N

4. Determine a intensidade da força elétrica entre uma partícula de carga elétrica de + 9 mC e outra partícula de carga elétrica + 40 nC, separadas a uma distância de 20 cm. Considere $k = k_0 = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$. 4. 81 N

5. Duas cargas elétricas puntiformes positivas, Q_1 e Q_2, no vácuo, interagem mutuamente por meio de uma força elétrica cuja intensidade varia com a distância entre elas, segundo o gráfico a seguir. Sabendo-se que a carga Q_2 é o dobro da carga Q_1, calcule o valor de Q_1. 5. 2,12 µC



Representação gráfica da variação da intensidade da força elétrica $F_{el.}$ em função da distância *d* entre as duas cargas elétricas. (Imagem sem escala.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

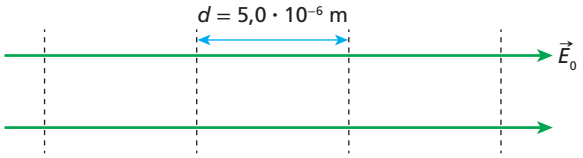
6. Nos vértices *A* e *B* de um triângulo equilátero de lado *L*, há duas cargas iguais a $2q$ e $-3q$. Determine a intensidade do campo elétrico resultante gerado por essas cargas em um ponto situado no terceiro vértice do triângulo equilátero. 6. $k \cdot \frac{q}{L^2} \cdot \sqrt{7}$

7. (IFS-SE) Duas placas planas e paralelas, separadas por 25 cm de distância, estão uniformemente carregadas com cargas de sinais opostos, de modo que entre as placas há um campo elétrico uniforme de 800 N/C, perpendicular às placas. Qual deve ser a energia cinética com que uma carga de 0,02 C atinge a placa negativa, tendo partido do repouso da placa positiva? 7. Alternativa **c**.

a. 2 J
b. 3 J
c. 4 J
d. 0

8. (Unicamp-SP) As máscaras de proteção N95 e PFF2 se tornaram ferramentas importantes no combate à disseminação do novo coronavírus durante a pandemia da Covid-19. Essas máscaras possuem fibras compostas de um material com campo elétrico permanente e são capazes de realizar uma filtragem eletrostática das partículas ou gotículas dispersas no ar. Considere um campo elétrico uniforme de módulo $E_0 = 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ V/m em uma região do espaço. A diferença de potencial elétrico entre duas linhas tracejadas paralelas entre si e perpendiculares à direção desse campo elétrico, separadas por uma distância *d*, conforme mostra a figura a seguir, é igual a

a. $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ V
b. $2{,}0 \cdot 10^{-7}$ V
c. $0{,}8 \cdot 10^{-6}$ V 8. Alternativa **b**.
d. $1{,}2 \cdot 10^{-4}$ V

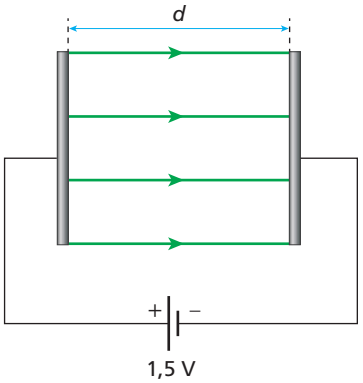


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

9. (Med. Einstein-SP) Tubarões apresentam estruturas sensoriais próximas aos seus focinhos chamadas de ampolas de Lorenzini, com a capacidade de detectar campos elétricos muito sutis, gerados por outros animais. São eletrorreceptores que, além de facilitar a caça de suas presas, possibilitam-lhes orientar-se durante a navegação.

JULIAN GUNTHER/GETTY IMAGES

Alguns tubarões podem detectar campos elétricos muito fracos, da ordem de 10^{-6} V/m. Para se ter uma ideia da grande sensibilidade elétrica dos sensores desses animais, considere que esse mesmo campo elétrico seja produzido entre duas placas metálicas paralelas ligadas a uma pilha AA comum, de 1,5 V, como mostrado na figura.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Nesse caso, a distância *d* entre essas placas deverá ser de:

a. $1{,}5 \cdot 10^{0}$ m
b. $1{,}5 \cdot 10^{6}$ m
c. $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ m
d. $1{,}5 \cdot 10^{2}$ m 9. Alternativa **b**.
e. $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ m

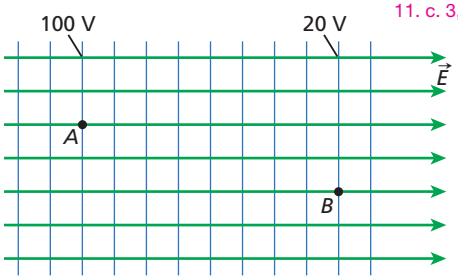
10. (PUC-PR) Um sistema de cargas pontuais é formado por duas cargas positivas $+q$ e uma negativa $-q$, todas de mesma intensidade, cada qual fixa em um dos vértices de um triângulo equilátero de lado *r*. Se substituirmos a carga negativa por uma positiva de mesma intensidade, qual será a variação da energia potencial elétrica do sistema? A constante de Coulomb é denotada por *k*.

a. $\frac{2kq^2}{r}$
b. $-\frac{2kq^2}{r}$
c. $-\frac{4kq^2}{r}$
d. $\frac{4kq^2}{r}$
e. $\frac{kq^2}{r}$
10. Alternativa **d**.

11. O esquema a seguir representa um campo elétrico uniforme, $\vec{E}$, de intensidade $3{,}0 \cdot 10^2$ N/C. As linhas verticais correspondem às superfícies equipotenciais. Uma carga elétrica puntiforme, de intensidade 4,0 μC, colocada no ponto *A*, passa pelo ponto *B* após algum tempo. Determine:

a. a diferença de potencial entre os pontos *A* e *B*;
b. a força elétrica que atua na carga ao ser colocada no ponto *A*;
c. o trabalho (τ) realizado pela força elétrica para deslocar essa carga entre os pontos *A* e *B*.

11. a. 80 V
11. b. $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ N
11. c. $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ J



Representação esquemática do campo elétrico uniforme $\vec{E}$ e das superfícies equipotenciais. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 22

Eletrodinâmica

VITALII STOCK/SHUTTERSTOCK

Celular conectado ao carregador.

Os carregadores de celular são dispositivos que fornecem energia elétrica aos aparelhos para o carregamento das baterias. Circuitos elétricos dentro do carregador e dentro do celular, constituídos por diversos componentes (capacitor, resistor, bateria, entre outros), gerenciam e regulam esse carregamento. Alguns desses componentes são responsáveis por controlar a quantidade de energia elétrica recebida da fonte para garantir que não seja maior do que a quantidade que o aparelho pode suportar. Outros componentes monitoram e ajustam a temperatura do dispositivo durante o carregamento, evitando o superaquecimento e o risco de incêndio. A bateria é o elemento do circuito que armazena energia para manter o funcionamento do celular após ser desconectado do carregador.

Neste capítulo, estudaremos a Eletrodinâmica, área da Física que investiga as cargas elétricas em movimento, as correntes elétricas, os circuitos elétricos e os diferentes elementos que os constituem, como resistores, geradores, receptores e capacitores. Esses conceitos nos ajudarão a compreender o funcionamento de diversos dispositivos elétricos comumente utilizados no cotidiano, como os carregadores e as baterias de celular.

Corrente elétrica

O início do estudo da eletricidade está vinculado ao estudo da fisiologia. Por volta de 1780, o médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) demonstrou que músculos se contraíam ao sofrerem estímulos elétricos; esse foi um dos primeiros estudos relacionados hoje à Bioeletricidade, ciência que investiga fenômenos elétricos em sistemas biológicos. Nesse período, entendia-se que a corrente elétrica era um fluido positivo que se deslocava dos polos positivos para os negativos das pilhas. No entanto, em 1897, o físico britânico Joseph John Thomson (1856-1940) relacionou a carga elétrica a pequenas partículas constituintes dos átomos, chamadas elétrons. Hoje a **corrente elétrica** é definida como o movimento ordenado de cargas elétricas em determinada direção. Tais cargas elétricas são, geralmente, associadas a elétrons e íons, e seu movimento é o resultado da diferença de potencial (ddp) entre dois pontos.

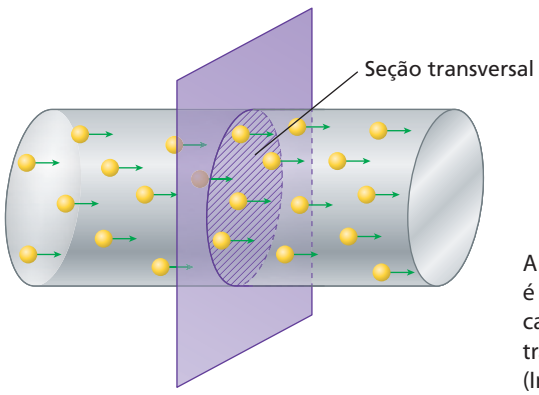
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para entender o conceito de corrente elétrica, podemos usar o exemplo de um fio condutor. Os condutores elétricos têm elétrons livres. Na ausência de um campo elétrico (ou em casos em que ele é nulo), esses elétrons livres têm um movimento aleatório, sem direção e sentido determinados. No entanto, quando um fio condutor é submetido a uma diferença de potencial, os elétrons livres passam a se mover ordenadamente no sentido da região de maior potencial elétrico. Esse movimento ordenado ao longo do fio condutor é o que define a corrente elétrica.

Intensidade da corrente elétrica

Suponha uma intersecção entre uma superfície imaginária e um fio condutor, chamada de seção transversal, conforme apresentado na figura a seguir.

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



A intensidade da corrente elétrica é determinada pela quantidade de carga elétrica que atravessa uma seção transversal do fio por unidade de tempo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Define-se a **intensidade média da corrente elétrica (*i*)** como a razão entre o módulo da quantidade de carga Q que atravessa certa seção transversal do condutor e o intervalo de tempo Δt.

Matematicamente, temos:

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

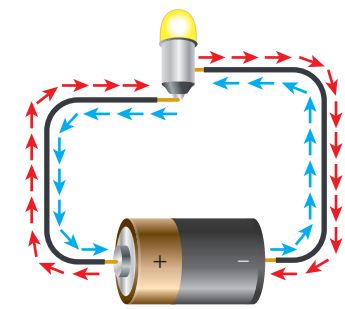
De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida de intensidade de corrente elétrica é o **ampere (A)**, em homenagem ao físico francês André-Marie Ampère (1775-1836). É comum apresentar a quantidade de amperes em seus submúltiplos, como miliamperes (10^{-3} A ou mA) e microamperes (10^{-6} A ou µA).

Se quisermos determinar a quantidade de carga elétrica Q em função do número (n) de partículas constituintes da corrente elétrica e do valor elementar de carga (e), temos:

$$Q = n \cdot e$$

O entendimento de que a corrente elétrica é o fluxo ordenado de cargas elétricas negativas ou positivas levou a comunidade científica a estabelecer uma convenção quanto ao sentido da corrente elétrica. Dessa forma, denomina-se **corrente elétrica convencional** a corrente cujo sentido é representado pelo movimento de cargas elétricas hipoteticamente positivas do polo positivo para o negativo.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA



O sentido convencional da corrente elétrica é oposto ao sentido real do fluxo de elétrons em um fio condutor. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

Os choques elétricos podem ser bastante perigosos, em decorrência da intensidade da corrente elétrica que passa pelo corpo e do caminho percorrido por ela.

Dependendo da intensidade da corrente, os efeitos do choque elétrico no corpo humano podem ser muito diferentes: desde um leve incômodo até queimaduras e parada cardíaca. A tabela a seguir apresenta alguns prováveis efeitos da corrente elétrica no corpo humano de acordo com a intensidade de corrente ao qual ele é submetido.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

Intensidade de corrente elétrica em mA (60 Hz)	Duração da exposição	Efeitos mais graves*
0 a 0,5	Qualquer.	Nenhum.
0,5 a 2	Qualquer.	Limiar de percepção, leve incômodo.
2 a 10	Qualquer.	Dor, contração muscular, descontrole muscular.
10 a 25	Alguns minutos.	Contração muscular, dificuldade respiratória, aumento da pressão arterial.
25 a 50	Alguns segundos.	Paralisia respiratória, fibrilação ventricular, inconsciência.
50 a 200	Mais de um **ciclo cardíaco**.	Fibrilação ventricular, inconsciência, paralisia respiratória, marcas visíveis.
Acima de 200.	Menos de um ciclo cardíaco.	Fibrilação ventricular, inconsciência, marcas visíveis.
Acima de 200.	Mais de um ciclo cardíaco.	Parada cardíaca reversível, inconsciência, queimaduras.

* Com grande probabilidade de ocorrência.

Fonte: elaborado com base em GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 3**: Eletromagnetismo. São Paulo: Edusp, 2007.

Efeitos mais graves de diferentes intensidades de corrente elétrica no corpo humano, com grande probabilidade de ocorrência, considerando o tempo de exposição.

Ciclo cardíaco: intervalo de tempo de aproximadamente 0,8 s entre o início de um batimento cardíaco e o início do próximo batimento, em que ocorrem a contração e o relaxamento alternados dos átrios e ventrículos do coração para bombear o sangue pelo corpo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Efeito Joule

Mencione aos estudantes que o elemento popularmente chamado de resistência elétrica é, na verdade, um resistor. Destaque que resistor é um componente elétrico e resistência elétrica é uma propriedade física do material condutor.

Nas linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, estruturas que conectam as usinas geradoras de energia elétrica ao consumidor, o aquecimento de fios elétricos é indesejado, mas esse efeito pode ser muito útil em outras situações do cotidiano, como no funcionamento de chuveiros elétricos.

Quando uma corrente elétrica passa por qualquer material, incluindo o corpo humano, parte da energia elétrica é transformada em energia térmica, causando aquecimento. Em um fio de cobre, por exemplo, os elétrons livres, sob a influência de uma diferença de potencial, recebem energia e passam a se movimentar, interagindo com os átomos de cobre e aumentando a agitação deles, o que eleva a temperatura do fio. Esse fenômeno, conhecido como **efeito Joule**, é responsável pela dissipação de energia nas redes de transmissão de eletricidade e também é utilizado como mecanismo de proteção de redes elétricas por meio de fusíveis, que contêm materiais que se fundem ao serem submetidos a correntes elétricas acima do limite de segurança.

LUIS CARLOS TORRES/SHUTTERSTOCK

Resistor danificado de um chuveiro elétrico. O aquecimento de um chuveiro elétrico é resultado da passagem de corrente elétrica por um fio condutor feito, em geral, de uma liga de níquel, cromo e ferro, conhecido popularmente como resistência elétrica do chuveiro. Quando o resistor é danificado, a água deixa de ser aquecida.

3. O efeito Joule ocorre quando corrente elétrica passa por um material condutor e parte da energia elétrica é transformada em energia térmica, causando aquecimento. Possíveis aplicações tecnológicas: aquecedores elétricos, chuveiros elétricos, fusíveis, fornos elétricos.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

1. Considere que por uma seção transversal de um fio condutor de um carregador de celular atravessa uma quantidade de carga elétrica $Q = 2$ C em um intervalo de tempo de 10 s. Qual é a intensidade média da corrente elétrica no fio condutor desse carregador? 1. 0,2 A

2. O choque elétrico pode ser provocado pela passagem de corrente elétrica pelo corpo humano. As consequências de um choque vão desde um simples susto à morte. Considere que um eletricista segurou acidentalmente um fio desencapado por 2 ms e que nesse período passaram $150 \cdot 10^{13}$ elétrons pela seção transversal do condutor.

a. Sabendo que o valor da carga elétrica elementar é igual a $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, qual foi a intensidade média da corrente elétrica que atravessou o corpo do eletricista?

b. De acordo com a tabela **Efeitos da corrente elétrica no corpo humano**, quais seriam os possíveis efeitos mais graves desse choque elétrico para o eletricista?

3. Explique o efeito Joule e cite três aplicações tecnológicas.

2. a. 120 mA
2. b. Fibrilação ventricular, inconsciência, paralisia respiratória, marcas visíveis.

Registre em seu caderno

EM FOCO O desenvolvimento da lâmpada elétrica

ODS 10 ODS 12

De acordo com os registros históricos, Thomas Edison (1847-1931) é o nome mais conhecido quando investigamos a história das lâmpadas elétricas. No entanto, para conseguir produzir uma lâmpada incandescente prática e de longa duração, Edison precisou aperfeiçoar trabalhos e hipóteses de muitos outros cientistas e inventores.

SCIENCE HISTORY IMAGES/ALAMY/FOTOARENA

Retrato de Lewis Howard Latimer (1848-1928).

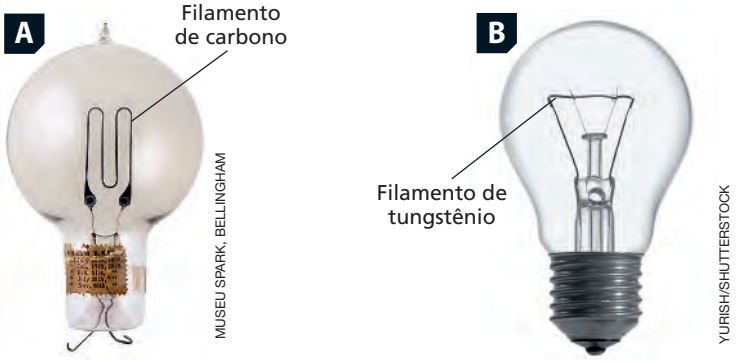
Entre as contribuições ao trabalho de Edison, destacam-se os trabalhos de Lewis Howard Latimer, engenheiro e desenhista afro-americano que foi importante na história da ciência e da inovação. Filho de pais ex-escravizados pelo sistema escravocrata que persistiu até meados do século XIX nos Estados Unidos, Latimer enfrentou muitos desafios na infância devido à discriminação racial e à pobreza de sua família. Durante a adolescência, enquanto trabalhava em um escritório de patentes, interessou-se por invenções e, assim, desenvolveu habilidades em desenhos e projetos, principalmente na área de iluminação a gás.

Em 1880, Latimer foi contratado por uma companhia fabricante de lâmpadas, onde contribuiu para a melhoria do filamento de carbono nas lâmpadas incandescentes, desenvolvendo um filamento mais durável e resistente ao calor. Seus aprimoramentos possibilitaram às lâmpadas funcionar por mais tempo, tornando-as mais práticas para uso doméstico. Esse foi o fato determinante na invenção da lâmpada elétrica. O tempo de vida da lâmpada elétrica mudou o curso da história, pois antes do aprimoramento de Latimer as lâmpadas usavam filamentos com tempo de vida muito curto e isso praticamente inviabilizava o invento.

Mesmo após a finalização do modelo de lâmpada apresentado por Edison, Latimer seguiu contribuindo para o desenvolvimento da área e, em 1881, escreveu e ilustrou um livro sobre o modelo de lâmpada de Edison, chamado **Incandescent Electric Lighting: a Practical Description of the Edison System** (Iluminação elétrica incandescente: uma descrição prática do sistema de Edison, em tradução livre), que se tornou um guia importante para a instalação e manutenção de iluminação elétrica e ajudou a popularizar a tecnologia.

Em 1884, Latimer se juntou à equipe de Thomas Edison como engenheiro-chefe e desenhista, contribuindo de maneira fundamental na implementação das instalações de iluminação elétrica em várias cidades dos Estados Unidos e da Europa.

As lâmpadas incandescentes são compostas, em seu interior, de um pequeno filamento de carbono, como nas lâmpadas de Latimer (figura A), ou de metal, como o tungstênio (figura B).



MUSEU SPARK, BELLINGHAM

YURISH/SHUTTERSTOCK

(A) Lâmpada incandescente com filamento de carbono desenvolvida por Latimer em 1881. **(B)** Lâmpada incandescente com filamento de tungstênio.

Quando corrente elétrica passa pelo filamento da lâmpada, os átomos que o compõem recebem energia cinética, o que eleva a temperatura do filamento e gera luminosidade, devido ao efeito Joule.

Lâmpadas incandescentes foram muito utilizadas durante mais de um século em todo o mundo. A partir de 2016, sua comercialização foi proibida no Brasil, com a

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continuação

publicação de uma portaria que estabeleceu um limite mínimo de eficiência luminosa para a comercialização das lâmpadas.

Após a proibição, elas foram substituídas no mercado por lâmpadas fluorescentes, que utilizam outra tecnologia para seu funcionamento. Elas operam por meio da ionização de gases e da emissão de ondas eletromagnéticas resultante da aceleração dos íons provocada por uma diferença de potencial.

Comparando os dois tipos de lâmpada, as fluorescentes são significativamente mais eficientes e duráveis. As lâmpadas incandescentes convertem menos de 10% da energia elétrica em luz visível, enquanto as lâmpadas fluorescentes dissipam menos energia e duram cerca de 20 vezes mais.

Outro tipo de lâmpada reconhecido por sua eficiência é a lâmpada de LED (sigla em inglês para *light-emitting diode* ou diodo emissor de luz). Esses componentes eletrônicos emitem luz ao passar uma corrente elétrica mínima por eles. As lâmpadas de LED têm durabilidade maior e são 98% recicláveis, reduzindo os impactos ambientais.

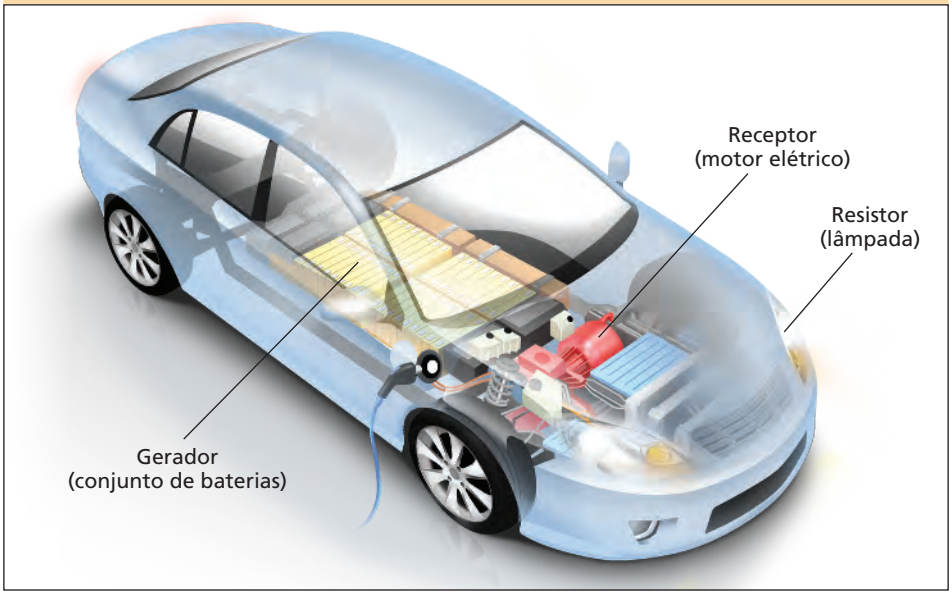
1. Qual foi a contribuição de Lewis Howard Latimer para o modelo de lâmpada incandescente desenvolvido por Thomas Edison?
2. Por que a venda de lâmpadas incandescentes foi proibida no Brasil a partir de 2016?
3. Ao longo da história do desenvolvimento científico e tecnológico, muitos cientistas, especialmente mulheres e negros, tiveram suas contribuições ignoradas ou atribuídas a outras pessoas mais reconhecidas em suas áreas de pesquisa. Na sua opinião, qual é a importância de reconhecer o envolvimento dessas pessoas em grandes avanços científicos? Explique.
4. Considerando os impactos ambientais e econômicos, elabore um argumento, com base em informações científicas, sobre a importância do desenvolvimento de modelos mais sustentáveis de lâmpadas e outros equipamentos elétricos ou eletrônicos.

1. A melhoria do filamento de carbono nas lâmpadas incandescentes, mais durável e resistente ao calor, possibilitando o funcionamento da lâmpada por mais tempo.
2. Pois foi estabelecido um limite mínimo de eficiência luminosa para a comercialização das lâmpadas, e a lâmpada incandescente não atende a esse limite.
3. Espera-se que os estudantes reflitam sobre a importância da equidade, da representatividade para inspirar futuras gerações de cientistas de todas as origens, da diversidade de experiências, saberes e perspectivas para o desenvolvimento científico e o fortalecimento da comunidade científica. Comente com os estudantes como alguns aspectos da história foram escritos marginalizando certos grupos e como é importante corrigir esses erros para uma compreensão mais completa do desenvolvimento científico.
4. Se achar conveniente, sugira aos estudantes que pesquisem modelos mais sustentáveis de lâmpadas. Espera-se que os estudantes reflitam sobre os impactos ambientais e econômicos de diferentes tecnologias e sobre o consumo de energia elétrica.

Circuitos elétricos

Em um carro com motor elétrico, há uma bateria, que pode ser tratada como um gerador; lâmpadas, que podem ser tratadas como resistores; e um motor, que pode ser tratado como um receptor. Quando conectados entre si, esses elementos, gerador, resistor e receptor, formam um **circuito elétrico**; nesse caso, a parte elétrica do carro. De maneira geral, um circuito elétrico é constituído por um conjunto de dispositivos elétricos no qual é possível estabelecer a passagem de corrente elétrica.

Elementos do circuito elétrico de um carro elétrico



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em AFDC. **Alternative Fuels Data Center**. U.S. Department of Energy. Energy efficiency & renewable energy. Washington DC, [s. d.]. Disponível em: https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work. Acesso em: 12 out. 2024.

Representação esquemática de alguns elementos do circuito elétrico de um carro elétrico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fique por dentro

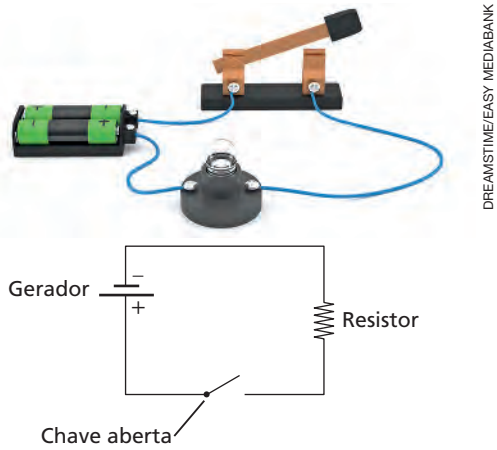
Universo elétrico

BODANIS, D. **Universo elétrico**. Rio de Janeiro: Record, 2008.

Nesse livro, o autor nos guia em uma viagem por episódios históricos do desenvolvimento da eletricidade e apresenta experimentos e inventos que transformaram o mundo e o modo como vivemos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A figura a seguir apresenta um exemplo de circuito elétrico simples, em que há um elemento que fornece energia elétrica, nesse caso as pilhas; uma lâmpada, que se comporta como resistor; uma chave, que permite estabelecer ou cessar a corrente elétrica; e os fios condutores.



DREAMSTIME/EASY MEDIABANK

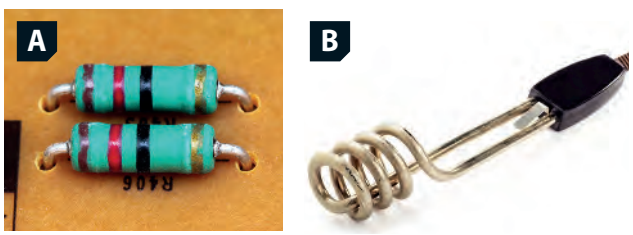
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Exemplo de um circuito elétrico formado por pilhas, uma lâmpada, fios condutores e uma chave.

A seguir, estudaremos com mais detalhes alguns elementos dos circuitos elétricos, como resistores, capacitores, geradores, chaves e receptores.

Resistores

A figura a seguir mostra dois condutores, cada um com sua aplicação específica, mas com uma característica em comum: oferecer resistência à passagem de corrente elétrica. Por isso, eles são chamados de resistores, popularmente conhecidos como "resistência" do equipamento. Na figura A temos resistores de uso geral para equipamentos eletrônicos. A figura B mostra um ebulidor de água com um resistor que funciona controlando a passagem de corrente elétrica. Ao reduzir a corrente elétrica em um circuito, o resistor converte energia elétrica em energia térmica.



WISAWA222/SHUTTERSTOCK

APERTURESOUND/SHUTTERSTOCK

(A) Resistores em um circuito eletrônico. **(B)** Ebulidor de água.

Resistência elétrica

Materiais condutores oferecem naturalmente alguma resistência à passagem de corrente elétrica. Os próprios átomos do material condutor por onde passa a corrente opõem-se à passagem dos elétrons livres. O resultado desse efeito é a transformação da energia elétrica em energia térmica, normalmente dissipada no meio em que o condutor está imerso.

A dificuldade imposta por um condutor à passagem de corrente elétrica recebe o nome de **resistência elétrica**. O valor da resistência elétrica depende de alguns parâmetros que, por sua vez, ajudam a determinar a intensidade da corrente elétrica.

Foi o físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) quem notou que condutores diferentes regulam a passagem de corrente elétrica de modo distinto. Com base em experiências, Ohm observou que a resistência à passagem de corrente elétrica em um condutor depende das seguintes características.

- Comprimento do condutor (L): quanto maior é o comprimento, maior será o caminho a ser percorrido pelos elétrons. Logo, resistência elétrica e comprimento do condutor são diretamente proporcionais.
- Área de seção transversal do condutor (A): quanto maior for essa área, mais fácil será a passagem da corrente elétrica. Assim, resistência elétrica e área da seção transversal do condutor são inversamente proporcionais.
- Material do condutor, representado por sua resistividade elétrica (ρ): dependendo de como os átomos se organizam no condutor, maior será a resistência à passagem de corrente elétrica.

A expressão a seguir relaciona a resistência elétrica (R), o comprimento do condutor, sua área de seção transversal e a resistividade elétrica.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Note que as grandezas resistência elétrica e resistividade elétrica do condutor são diretamente proporcionais.

No SI, a unidade de medida da resistência elétrica é o **ohm (Ω)** e a da resistividade elétrica é o ohm-metro (Ω · m).

A tabela apresenta os valores de resistividade elétrica de alguns materiais.

Resistividade elétrica de alguns materiais

Material	Resistividade elétrica à temperatura de 20 °C (Ω · m)
Alumínio	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$
Chumbo	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$
Cobre	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
Estanho	$1{,}2 \cdot 10^{-7}$
Ferro	$1{,}0 \cdot 10^{-7}$
Mercúrio	$9{,}6 \cdot 10^{-7}$
Níquel	$7{,}8 \cdot 10^{-8}$
Platina	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$
Prata	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
Tungstênio	$5{,}6 \cdot 10^{-8}$
Zinco	$6{,}0 \cdot 10^{-8}$
Carbono	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$

Fonte: elaborado com base em GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 3**: Eletromagnetismo. São Paulo: Edusp, 2007.

Valores da resistividade elétrica de alguns materiais, em Ω · m, à temperatura de 20 °C.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Se achar conveniente, comente com os estudantes que a resistividade elétrica de um condutor varia com a temperatura porque esta influencia na organização dos átomos no condutor. Portanto, se a resistividade elétrica de um condutor varia com a temperatura, a resistência elétrica também varia, proporcionalmente.

Comente com os estudantes que a lei de Ohm permite avaliar a intensidade da corrente elétrica que passa pelo corpo em um choque elétrico. A intensidade de corrente elétrica depende tanto da tensão elétrica quanto da resistência dos tecidos do corpo, segundo a lei de Ohm. Como a resistência entre dois pontos do corpo, especialmente com a pele seca, é alta (cerca de $10^5\ \Omega$), a corrente tende a ser baixa, mas ainda pode causar danos à saúde. Fatores como umidade e condições físicas também influenciam a reação ao choque.

Exemplo

Considere um fio de cobre de 4,0 m de comprimento e área de seção transversal de 2,0 mm² ($A = 2{,}0\ mm^2 = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^2$). Determine a resistência elétrica desse fio condutor, mantido à temperatura constante de 20 °C.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \Rightarrow R = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m \cdot 4{,}0\ m}{2{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^2} \therefore R = 3{,}4 \cdot 10^{-2}\ \Omega$$

Lei de Ohm

Como podemos medir a resistência à passagem de corrente elétrica em um condutor? Se afirmamos que um condutor oferece uma resistência maior do que outro, isso significa que precisamos aplicar uma diferença de potencial (U) maior para obter a mesma corrente (i). De forma equivalente, temos que, com a mesma diferença de potencial aplicada, o condutor com maior resistência será percorrido por uma corrente menor. Dessa forma, podemos determinar a resistência elétrica (R) de um condutor como:

$$R = \frac{U}{i}$$

Sendo que, em um condutor mantido à temperatura fixa, esse valor é constante.

Essa relação foi determinada pelo físico Georg Simon Ohm, e em sua homenagem é conhecida atualmente como **lei de Ohm**. Acompanhe o exemplo de uma situação em que a lei de Ohm é aplicada.

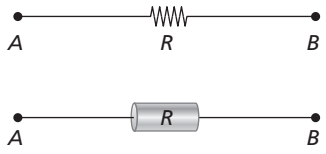
Exemplo

Se um resistor de 330 Ω for submetido a uma diferença de potencial de 110 V, qual será a intensidade da corrente elétrica que atravessa esse resistor?

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{110\ V}{330\ \Omega} \Rightarrow i = \frac{1}{3}\ A \therefore i \simeq 0{,}33\ A$$

Note que temos a equivalência $1\ V/\Omega = 1\ A$.

Nos circuitos elétricos, os resistores podem ser representados como na figura a seguir.



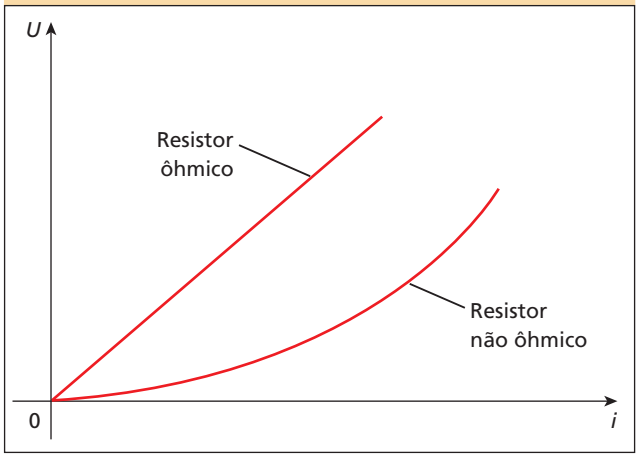
Representações dos resistores em circuitos elétricos.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Os resistores que obedecem à lei de Ohm e têm resistência elétrica constante são chamados de **resistores ôhmicos**. Já os resistores para os quais a resistência elétrica não é constante são denominados **resistores não ôhmicos**.

Uma maneira de identificar um condutor ôhmico é analisando seu gráfico de diferença de potencial em função da corrente elétrica. Quando a resistência elétrica é constante, isto é, quando temos um resistor ôhmico, a curva característica apresentada pelo gráfico corresponde a uma função linear.

Gráfico de $U \times i$ para resistores ôhmicos e não ôhmicos



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da curva característica de resistores ôhmicos e não ôhmicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

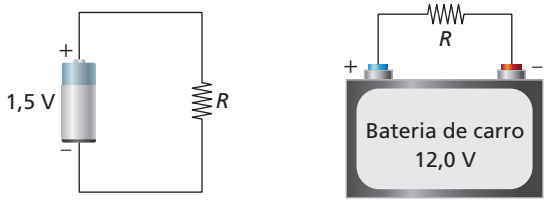
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. Qual é a principal diferença entre os resistores ôhmicos e não ôhmicos?

5. Na figura a seguir, um resistor ôhmico é conectado a duas baterias diferentes, em situações distintas. Cada uma delas apresenta tensão elétrica diferente, conforme indicado.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um resistor ôhmico de resistência elétrica R conectado a duas baterias diferentes, em situações distintas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

a. Calcule o valor da resistência elétrica do resistor sabendo que a intensidade da corrente elétrica que atravessa o resistor no primeiro circuito é de 0,3 A. Indique o sentido convencional da corrente.

b. Para esse mesmo resistor, calcule a intensidade de corrente elétrica que percorre o segundo circuito elétrico e indique o seu sentido convencional.

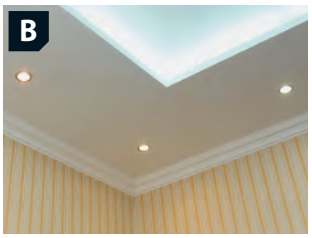
5. a. 5,0 Ω
5. b. 2,4 A

4. Resistores ôhmicos obedecem à lei de Ohm e têm resistência elétrica constante. Resistores não ôhmicos não têm resistência elétrica constante.

Associação de resistores

As fotografias a seguir mostram iluminações decorativas – lâmpadas pisca-pisca utilizadas em decorações natalinas (figura A) e lâmpadas no teto utilizadas para iluminar e decorar ambientes internos de residências (figura B).

KYLE T PERRY/SHUTTERSTOCK



ANN YUNI/SHUTTERSTOCK

(A) Lâmpadas decorativas natalinas associadas em série. **(B)** Lâmpadas no teto de uma residência associadas em paralelo. (Imagens sem escala.)

Existem alguns tipos de pisca-pisca em que a ligação entre as lâmpadas é tal que por todas elas passa simultaneamente a mesma intensidade de corrente elétrica. Isso ocorre porque há apenas um caminho possível para a passagem da corrente elétrica nesse circuito. Nele as lâmpadas se comportam como resistores que estão conectados entre si e funcionam simultaneamente. Esse tipo de associação de resistores é conhecido como **associação em série**.

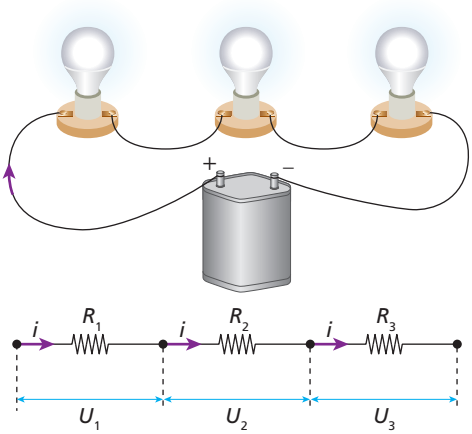
Já no caso das lâmpadas no teto, todas elas estão submetidas à mesma diferença de potencial (ddp), a tensão elétrica da rede, popularmente chamada de voltagem. Essas lâmpadas estão conectadas ao circuito de forma independente, então, se uma delas parar de funcionar, as outras continuam acesas. Esse tipo de associação de resistores é conhecido como **associação em paralelo**.

Associação de resistores em série

Para associarmos resistores em série, eles devem ser conectados de modo que criem apenas um caminho possível para a passagem de corrente elétrica. Toda corrente que passar por um dos resistores passará pelos outros.

Na associação em série, a intensidade da corrente elétrica (i) é a mesma nos três resistores.

$$i = i_1 = i_2 = i_3$$



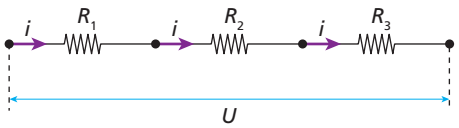
LUIZ RUBIO; NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de lâmpadas associadas em série e seus respectivos resistores. Nessa situação, a intensidade da corrente elétrica é a mesma em todos os resistores. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

No entanto, a ddp (U) é diferente em cada resistor de uma associação em série. Por isso, de todas as aplicações possíveis para a associação de resistores em série, a mais utilizada em aparelhos elétricos e eletrônicos é o **divisor de tensão**.

Considere que temos uma ddp total U e queremos utilizar só uma parte dela. Como fazer isso na prática? Uma maneira é dividindo U em duas ou mais partes, por exemplo, U_1, U_2, ..., U_n. Com uma associação em série isso é imediato. No mesmo intervalo de tempo, a mesma quantidade de carga elétrica atravessa todos os resistores em série, ou seja, a intensidade de corrente elétrica é a mesma nos resistores. Portanto, a ddp total é equivalente à soma das ddp individuais.

$$U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$$



Representação esquemática de resistores associados em série; a ddp total (U) é a soma das ddp individuais nos resistores.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Resistência elétrica equivalente na associação de resistores em série

A **resistência equivalente** (***R*** ou $\boldsymbol{R_{eq.}}$) é o valor da resistência elétrica de um único resistor, hipotético, que equivaleria ao conjunto de resistores da associação inteira.

Na associação em série, sabemos que a ddp total é a soma das ddp individuais em cada resistor. Então:

$$U_{total} = U_1 + U_2$$

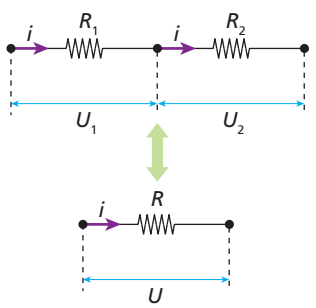
Pela lei de Ohm, substituindo $U = R \cdot i$ e sabendo que a corrente elétrica é a mesma, temos:

$$R \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i \Rightarrow R = R_1 + R_2$$

Se houver n resistores associados:

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

Portanto, associar resistores em série torna a resistência equivalente sempre maior do que a do resistor de maior resistência elétrica da associação.



Representação esquemática de dois resistores associados em série e do resistor equivalente.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

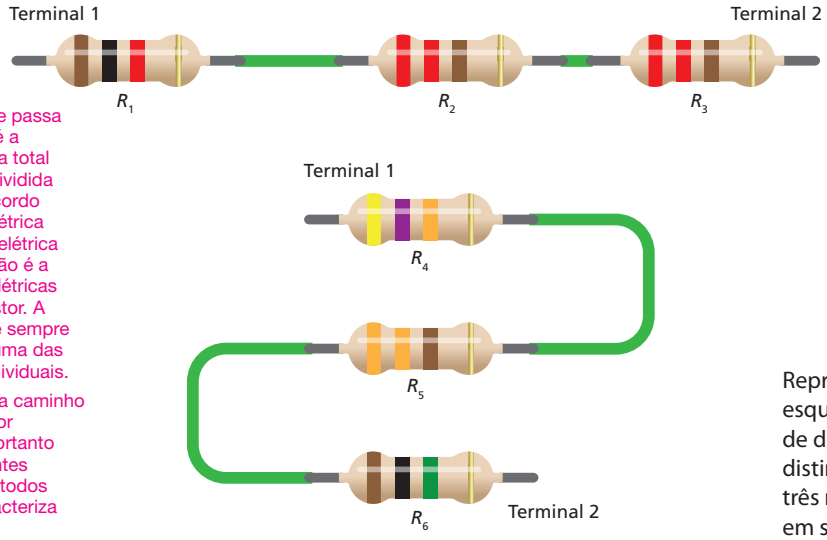
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

6. Escreva quatro características fundamentais de uma associação de resistores em série.

7. Nos trechos de circuitos a seguir, há três resistores associados. Note que as configurações dos dois circuitos são diferentes, no entanto ambas são associações em série. Explique a característica fundamental da associação em série presente nesses dois trechos de circuitos que nos permite fazer tal afirmação.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de trechos de dois circuitos elétricos distintos, cada um com três resistores associados em série.

6. A corrente elétrica que passa por todos os resistores é a mesma. A tensão elétrica total fornecida ao circuito é dividida entre os resistores de acordo com a sua resistência elétrica individual. A resistência elétrica equivalente da associação é a soma das resistências elétricas individuais de cada resistor. A resistência equivalente é sempre maior do que qualquer uma das resistências elétricas individuais.

7. Cada trecho apresenta caminho único a ser percorrido por uma corrente elétrica, portanto a intensidade das correntes elétricas é a mesma em todos os resistores, o que caracteriza associações em série.

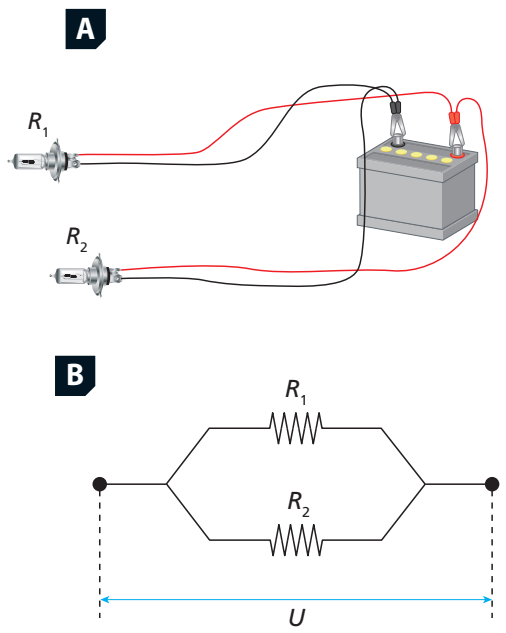
Associação de resistores em paralelo

Você já viu algum carro com uma das lâmpadas dos faróis queimada, enquanto as demais permanecem acesas? Isso ocorre porque essas lâmpadas, que podem ser consideradas resistores, estão associadas em paralelo. Assim, elas ficam ligadas diretamente na bateria, de forma independente, para que, caso uma pare de funcionar, as outras continuem acesas. Se as lâmpadas dos faróis estivessem associadas em série e uma deixasse de funcionar, todas apagariam. Em uma associação em paralelo, os resistores ficam submetidos à mesma ddp.

JUNIOR ROZZO/ROZZO IMAGENS

As lâmpadas dos faróis do carro estão associadas em paralelo. Caso uma pare de funcionar, a outra continua operando normalmente.

A figura a seguir mostra duas lâmpadas associadas em paralelo, ligadas diretamente em uma bateria, submetidas à mesma ddp (U).



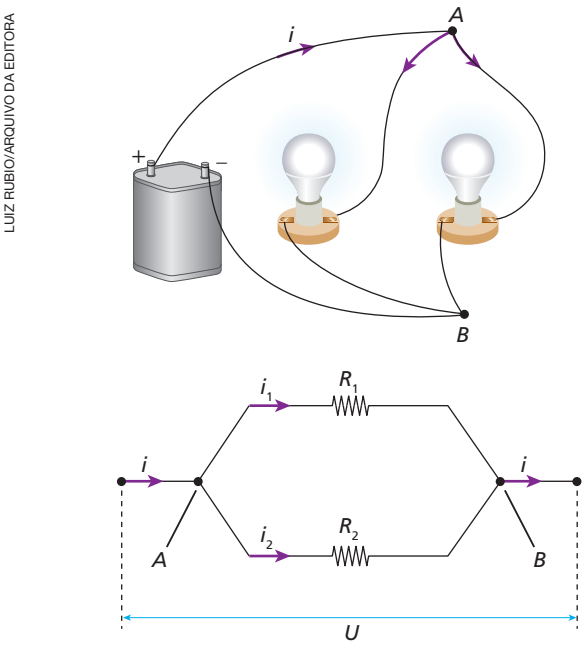
ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação de uma bateria ligada a duas lâmpadas em paralelo. **(B)** Representação esquemática das lâmpadas como resistores em um circuito elétrico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Intensidade de corrente elétrica total na associação de resistores em paralelo

O nó é um ponto onde a corrente elétrica se ramifica. O ponto *A* na figura a seguir, por exemplo, é um nó.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de lâmpadas associadas em paralelo, e seus respectivos resistores. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Ao ponto *A* chegam correntes elétricas de intensidades i_1 e i_2. De acordo com o princípio de conservação de cargas, toda corrente elétrica que chega a um nó tem de sair por ele. Portanto, a corrente de intensidade *i* corresponde à soma das correntes de intensidades i_1 e i_2.

Se houver *n* resistores em uma associação em paralelo, temos:

$$i = i_1 + i_2 + ... + i_n$$

Resistência elétrica equivalente na associação de resistores em paralelo

Voltemos ao exemplo das duas lâmpadas nos faróis do carro associadas em paralelo. Se quiséssemos saber qual é o valor da resistência elétrica de uma lâmpada hipotética, que pudesse substituir as duas, precisaríamos calcular a resistência equivalente (*R*) para as duas lâmpadas em paralelo. Para calcular esse valor, vamos considerar que a intensidade de corrente elétrica total *i* é a soma das intensidades das correntes i_1 e i_2 em uma associação em paralelo.

$$i = i_1 + i_2$$

A corrente elétrica pode ser determinada pela razão entre a ddp (*U*) e a resistência elétrica (*R*), ou seja, $i = \frac{U}{R}$. Logo, temos:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

Sabendo que todas as ddp são iguais a *U*, pois as lâmpadas estão associadas em paralelo, temos que a resistência elétrica equivalente *R* pode ser obtida pela expressão:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Casos particulares de associação de resistores em paralelo

Para agilizar os cálculos de resistência elétrica equivalente na associação em paralelo, utilizamos duas expressões que podem ser obtidas a partir da equação da resistência equivalente para associações em paralelo.

Quando temos dois resistores quaisquer, com resistências R_1 e R_2, na associação em paralelo, podemos utilizar a seguinte expressão.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Quando temos *n* resistores iguais, com resistências *r*, a resistência equivalente *R* da associação em paralelo é dada por:

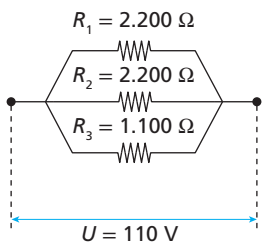
$$R = \frac{r}{n}$$

Portanto, associar resistores em paralelo torna a resistência equivalente sempre menor que a resistência elétrica de qualquer um dos resistores individuais associados.

Exemplo

Em uma residência, praticamente todas as ligações elétricas são feitas em paralelo. Como todas as lâmpadas estão submetidas à mesma ddp, dizemos que estão em paralelo. Considere uma casa com duas lâmpadas com resistência elétrica de 2.200 Ω e uma lâmpada com resistência de 1.100 Ω ligadas em paralelo e submetidas à ddp $U = 110$ V.

a. Qual é a intensidade de corrente elétrica em cada lâmpada?



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da associação em paralelo.

Como as ligações são independentes, temos, para cada uma das lâmpadas de 2.200 Ω, a seguinte intensidade de corrente elétrica.

$$i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{110\text{ V}}{2.200\ \Omega} \therefore i = 0{,}05\text{ A}$$

Para a lâmpada de 1.100 Ω, temos a seguinte intensidade de corrente elétrica.

$$i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{110\text{ V}}{1.100\ \Omega} \therefore i = 0{,}1\text{ A}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b. Qual é a resistência elétrica equivalente do circuito elétrico apresentado?

Quando temos *n* resistores iguais em paralelo, a resistência elétrica equivalente é o valor da resistência elétrica de um deles dividido por *n*. Assim, para a resistência equivalente *R'* dos dois resistores iguais de 2.200 Ω, temos:

$$R' = \frac{2.200\ \Omega}{2} \therefore R' = 1.100\ \Omega$$

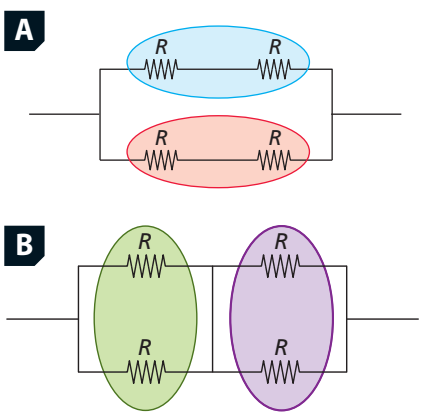
Esse resultado, $R' = 1.100\ \Omega$, pode ser usado para calcular a resistência equivalente *R* do circuito elétrico, considerando que esse resistor equivalente de resistência *R'* está associado em paralelo com o outro resistor do circuito, cuja resistência elétrica também é 1.100 Ω. Assim:

$$R = \frac{1.100\ \Omega}{2} \therefore R = 550\ \Omega$$

Associação mista de resistores

Até agora, estudamos que a associação em série apresenta resistência equivalente maior do que as demais resistências elétricas do circuito e a corrente elétrica tem somente um caminho a percorrer no circuito. Na associação em paralelo, a resistência elétrica equivalente é menor do que as demais resistências elétricas do circuito, já que há vários caminhos percorridos pela corrente elétrica. Por vezes precisamos unir as duas associações e, com isso, criar a chamada **associação mista**.

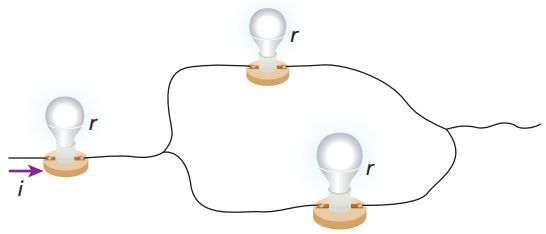
As figuras a seguir mostram exemplos de associações mistas. Ao analisarmos uma associação mista, é necessário sempre identificar primeiro as associações em série e em paralelo envolvidas. Na figura A, temos uma associação em série (destacada em azul) e outra associação em série (destacada em vermelho). Cada conjunto está associado um com o outro em paralelo. Na figura B, temos uma associação em paralelo (destacada em verde) que está associada em série com outra associação em paralelo (destacada em roxo).



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de associações mistas de resistores.

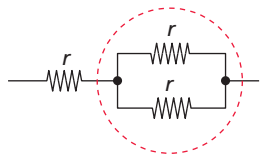
Vamos analisar outro exemplo de associação mista. Na situação representada a seguir, cada uma das lâmpadas tem resistência elétrica *r*.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Associação de lâmpadas com resistências elétricas *r*. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como seria a representação esquemática dessa situação com resistores no lugar das lâmpadas? Qual seria a resistência equivalente *R* dessa associação, em função de *r*?

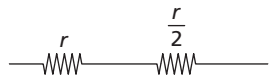


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da associação de lâmpadas. Os resistores destacados pela linha tracejada estão associados em paralelo.

Para calcular a resistência equivalente, vamos primeiramente analisar as associações. Os dois resistores destacados pela linha tracejada vermelha estão sob a mesma diferença de potencial, portanto estão em paralelo.

Uma associação em paralelo com dois resistores iguais tem resistência equivalente à metade da resistência elétrica de um resistor, ou seja, $\frac{r}{2}$. Substituindo os dois resistores da associação em paralelo por apenas um resistor equivalente $\left(\frac{r}{2}\right)$, podemos construir a seguinte representação para a associação de lâmpadas.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática simplificada da situação inicial, com dois resistores em série.

Agora, temos uma associação em série de *r* e $\frac{r}{2}$, portanto a resistência equivalente *R* da associação de lâmpadas é dada por:

$$R = r + \frac{r}{2} \Rightarrow R = \frac{3r}{2}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Circuitos elétricos: em série e em paralelo

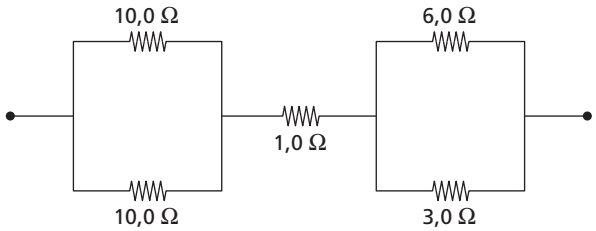
Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

8. Você precisa montar um circuito elétrico e tem três resistores com valores $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 3\ \Omega$ e $R_3 = 5\ \Omega$. Considerando que uma tensão elétrica constante será aplicada ao circuito, em qual configuração, em série ou em paralelo, a intensidade da corrente elétrica total no circuito será maior? Justifique.

9. Determine a resistência elétrica equivalente entre as extremidades da associação mista de resistores apresentada a seguir. 9. 8,0 Ω



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de uma associação mista de resistores.

8. Em paralelo. A resistência elétrica equivalente na associação em paralelo desses resistores é menor, portanto a intensidade de corrente elétrica é maior, para a mesma tensão aplicada.

Instrumentos de medida em eletricidade

Um dos instrumentos mais úteis para os profissionais que trabalham com eletricidade, como técnicos e engenheiros elétricos e eletrônicos, é o **multímetro**. Esse instrumento permite medir tensões (em volt), correntes elétricas (em ampere) ou ainda resistências elétricas (em ohm). Os multímetros podem ser digitais (figura A) ou analógicos (figura B).

A

STOCKPHOTO-GRAF/SHUTTERSTOCK

B

NATEE PHOTO/SHUTTERSTOCK

(A) Multímetro digital. **(B)** Multímetro analógico.

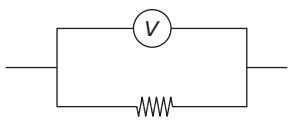
Quando o aparelho está regulado para medir tensões, ele é chamado de **voltímetro**; quando regulado para medir corrente, de **amperímetro**.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Símbolos referentes ao **(A)** voltímetro e ao **(B)** amperímetro em representações em circuitos elétricos.

O quadro a seguir apresenta informações que resumem as características desses instrumentos e que são importantes para o uso correto de voltímetros e amperímetros.

Características de voltímetros e amperímetros

Voltímetro	Amperímetro
Mede tensão.	Mede corrente.
Tem alta resistência elétrica, idealmente infinita.	Tem baixa resistência elétrica, idealmente nula.
Deve ser ligado em paralelo.	Deve ser ligado em série.
	

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

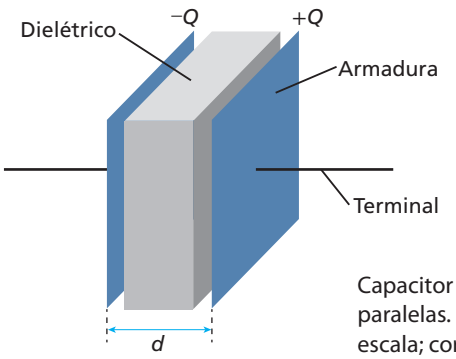
Capacitores

O **capacitor** é um dispositivo que pode armazenar energia elétrica.

YURAZAGA/SHUTTERSTOCK

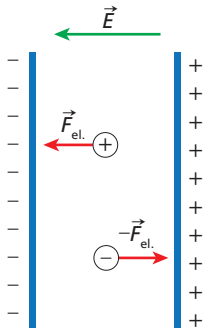
Diferentes tipos de capacitor com aplicações distintas.

De forma geral, o capacitor é constituído por dois materiais condutores, separados por um material isolante, chamado dielétrico. Quando o capacitor tem duas placas paralelas, ele é denominado capacitor plano. As placas, também chamadas de armaduras, podem ser ligadas a um circuito elétrico por meio dos seus correspondentes terminais. Quando cada uma das placas condutoras tem carga elétrica total neutra, dizemos que o capacitor está descarregado.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Capacitor de placas paralelas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do campo elétrico e das cargas elétricas em um capacitor de placas planas paralelas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No estudo dos capacitores, utiliza-se a grandeza **capacitância (C)**, que indica a quantidade de cargas elétricas que o capacitor consegue armazenar quando submetido a uma diferença de potencial (U). A capacitância pode ser calculada como:

$$C = \frac{Q}{U}$$

A unidade de medida de capacitância no SI é o **farad (F)**, tal que 1 F corresponde a 1 C/V.

Nos circuitos elétricos o capacitor recebe a seguinte representação:

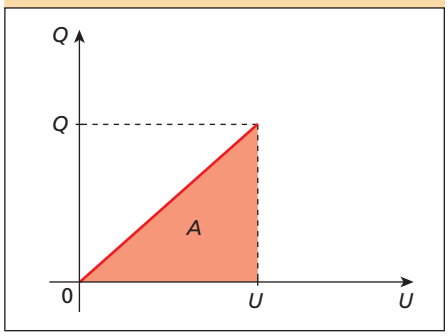
Representação dos capacitores em circuitos elétricos.

LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Energia armazenada por um capacitor

O gráfico a seguir mostra a variação de carga em um capacitor. Por meio dele, é possível determinar a energia armazenada pelo capacitor.

Gráfico de $Q \times U$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A área do triângulo (A) é numericamente igual à quantidade de energia elétrica armazenada no capacitor.

Uma propriedade importante desse gráfico é que o valor da área sob a curva (A) é numericamente igual à quantidade de energia elétrica ($E_{el.}$) armazenada no capacitor ao longo do processo de carga. Dessa forma:

$$A \overset{N}{=} E_{el.} \Rightarrow E_{el.} = \frac{Q \cdot U}{2}$$

A fim de expressar a energia elétrica no capacitor em função de sua capacitância, podemos substituir $C = \frac{Q}{U}$ na equação anterior. Assim, temos:

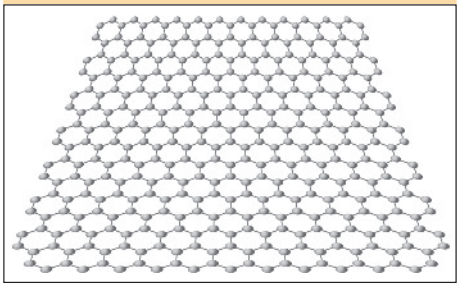
$$E_{el.} = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

Em busca da melhoria na eficiência dos dispositivos de armazenamento de energia elétrica, atualmente têm-se utilizado os chamados supercapacitores. Eles são dispositivos de armazenamento de energia que diferem dos sistemas de armazenamento convencionais por operar com uma combinação de dois princípios de armazenamento de energia: armazenamento eletrostático e armazenamento eletroquímico. Pesquisas atuais mostram que a estrutura dos supercapacitores permite um armazenamento

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

rápido e eficiente de energia elétrica, permitindo que eles sejam carregados e descarregados em questão de segundos. Um dos possíveis materiais testados para essa finalidade é o grafeno, um nanomaterial à base de carbono, constituído por placas bidimensionais com espessura da ordem de um átomo e alta condutividade elétrica.

Folha bidimensional de grafeno



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em BROWN, T. L. *et al*. **Química:** a ciência central. Tradução: LOPES, E.; JONAS, T.; YAMAMOTO, S. M. 13. ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

Representação de uma folha plana, bidimensional, de grafeno.

Fique por dentro

Capacitor

PODOLEFSKY, N. *et al*. Capacitor. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/capacitor-lab. Acesso em: 12 out. 2024.

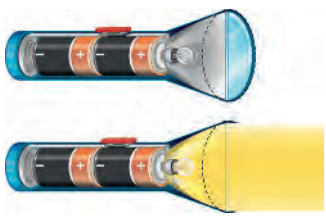
Com esse simulador, você poderá analisar as características dos capacitores, como a relação entre carga e tensão elétrica para um capacitor, os diferentes materiais dielétricos, além de determinar a energia armazenada em um capacitor ou em um conjunto de capacitores em um circuito elétrico.

Geradores

Em uma lanterna, assim como em inúmeros equipamentos, energia elétrica é transformada em energia térmica e energia luminosa, acendendo a lâmpada. Na maioria das lanternas, a energia elétrica vem das pilhas que transformam energia química em elétrica.

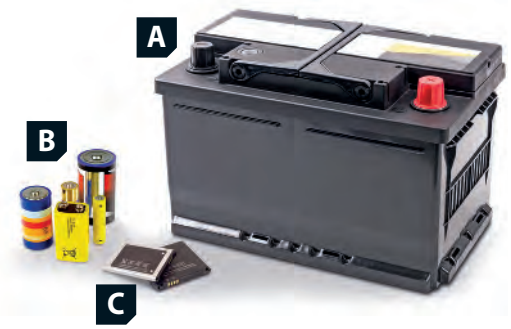
O elemento que tem a finalidade de fornecer energia elétrica para um circuito é chamado de **gerador**. Pilhas e baterias são exemplos de geradores.

A figura a seguir mostra alguns exemplos de geradores.



BLUERINGMEDIA/SHUTTERSTOCK

As pilhas fornecem energia elétrica para que a lâmpada da lanterna acenda. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



BATERIA DE CARRO: JR IMAGES/SHUTTERSTOCK
PILHAS: GABY KOOIJMAN/SHUTTERSTOCK
BATERIAS DE CELULAR: ART789/SHUTTERSTOCK

(A) Bateria de carro, **(B)** pilhas e baterias alcalinas e **(C)** baterias de telefone celular.

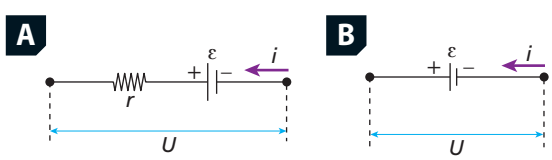
A tensão máxima ou nominal do gerador é denominada **força eletromotriz (fem)**, e a indicamos por ε. Para uma bateria de 9 V, por exemplo, a força eletromotriz é igual a 9 V, o que significa que esse gerador é capaz de realizar um trabalho de 9 J para cada coulomb de carga. Já a ddp U entre os dois terminais do gerador é dada pela força eletromotriz menos a queda de potencial ($r \cdot i$) que ocorre dentro do gerador. Portanto:

$$U = \varepsilon - r \cdot i$$

Note que uma bateria com a inscrição de 9 V não indica necessariamente que a ddp entre seus terminais será de 9 V, mesmo quando nova. Isso ocorre porque a bateria contém materiais condutores no seu interior que têm determinada resistência elétrica interna (r). Logo, há dissipação de energia em seu interior. Durante o uso das baterias, elas costumam se aquecer devido a essa dissipação de energia.

A equação obtida exprime a ddp que um gerador real mantém entre seus terminais. Se o gerador fosse ideal, ou seja, com resistência interna nula, teríamos:

$$U = \varepsilon$$



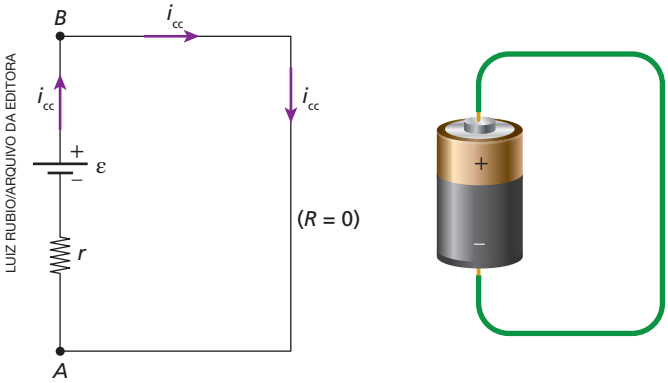
ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Representação esquemática do símbolo de um gerador real, em que r é a sua resistência interna, e **(B)** do símbolo de um gerador ideal, com resistência interna nula.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Gerador em curto-circuito

Um gerador está em curto-circuito quando seus polos são ligados por um fio de resistência elétrica nula. Nessas condições, a ddp U entre os polos do gerador é nula, pois o fio tem resistência elétrica nula. A corrente elétrica que atravessa o gerador é denominada corrente de curto-circuito (i_{cc}) e é a mais intensa possível para o circuito em questão.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Gerador em curto-circuito. Nessa situação, o circuito elétrico tem resistência elétrica nula e é percorrido por corrente de curto-circuito.

Aplicando $U = 0$ em $U = \varepsilon - r \cdot i$, obtém-se a expressão que nos permite calcular a corrente de curto-circuito (i_{cc}).

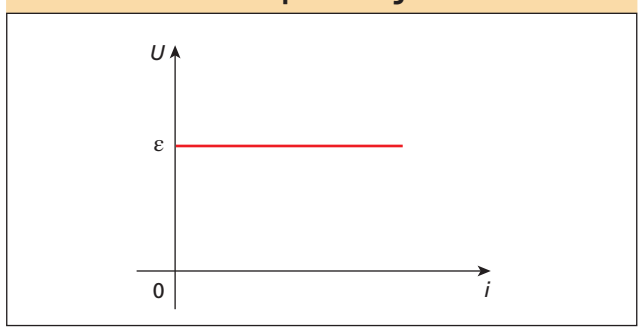
$$U = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow 0 = \varepsilon - r \cdot i_{cc} \Rightarrow i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Um gerador em curto-circuito é potencialmente perigoso. Uma pilha nessa situação pode superaquecer, explodir e vazar produtos químicos tóxicos.

Curva característica de um gerador

Para um **gerador ideal** (resistência interna desprezível), temos $U = \varepsilon$ (constante) e, nesse caso, o gráfico da ddp U em função da corrente i é uma reta paralela ao eixo i.

Gráfico de $U \times i$ para um gerador ideal



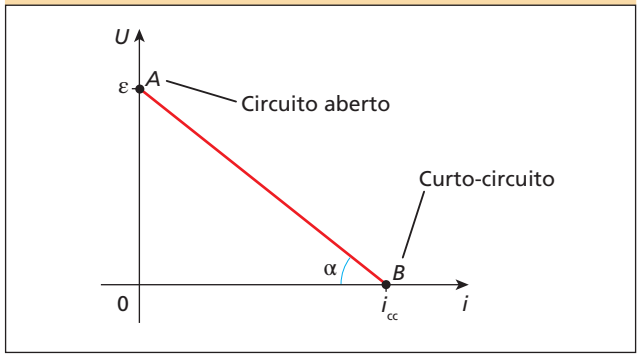
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação gráfica da curva característica de um gerador ideal.

Para um **gerador real**, sendo $U = \varepsilon - r \cdot i$, com ε e r constantes no gerador, o gráfico da ddp U em função da corrente i é uma reta inclinada decrescente em relação ao eixo vertical.

O ponto A do gráfico corresponde ao gerador em circuito aberto ($i = 0$ e $U = \varepsilon$). O ponto B corresponde ao gerador em curto-circuito ($U = 0$; $i = i_{cc}$).

Gráfico de $U \times i$ para um gerador real



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

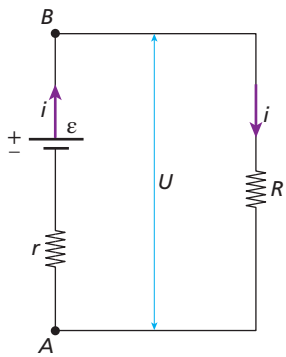
Representação gráfica da curva característica de um gerador real.

O coeficiente angular dessa reta, em valor absoluto, é dado por:

$$\text{tg}\,\alpha \overset{N}{=} \frac{\varepsilon}{i_{cc}} \Rightarrow \text{tg}\,\alpha \overset{N}{=} \frac{\varepsilon}{\frac{\varepsilon}{r}} \Rightarrow \text{tg}\,\alpha \overset{N}{=} r$$

Lei de Pouillet

Um circuito simples é aquele que oferece um só caminho para a circulação da corrente elétrica. Também chamado de circuito de malha única, o circuito mais simples é aquele constituído por um gerador conectado a um resistor.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um circuito elétrico de malha única, com um gerador de resistência elétrica interna r e um resistor de resistência R.

Para calcular a intensidade da corrente elétrica que percorre um circuito desse tipo, pode-se seguir os passos demonstrados a seguir.

Para o gerador, tem-se que:

$U = \varepsilon - r \cdot i$ (1)

Para o resistor, vem:

$U = R \cdot i$ (2)

Igualando-se (1) e (2), temos:

$R \cdot i = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow R \cdot i + r \cdot i = \varepsilon \Rightarrow i \cdot (R + r) = \varepsilon \Rightarrow$

$\Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R + r}$ ou $i = \frac{\varepsilon}{\Sigma R}$

O símbolo Σ indica somatório.

Essa equação é conhecida como lei de Pouillet.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

10. Determine a quantidade de carga elétrica e a quantidade de energia elétrica armazenadas em um capacitor de 8,0 μF submetido a uma diferença de potencial de 1,5 V. 10. 12,0 μC; 9,0 μJ

11. Qual é a principal diferença entre um gerador elétrico real e um ideal?

12. O que significa colocar um gerador em curto-circuito? 12. Conectar diretamente seus terminais por um fio de resistência elétrica desprezível ou nula.

11. O gerador elétrico real tem resistência elétrica interna, logo, há dissipação de energia em seu interior. No gerador elétrico ideal a resistência interna é nula.

Potência elétrica

A quantidade de energia elétrica ($E_{el.}$) que um aparelho recebe e transforma em outro tipo de energia, em um dado intervalo de tempo (Δt), é definida como a **potência elétrica (*P*)** desse aparelho, que pode ser expressa como:

$$P = \frac{E_{el.}}{\Delta t}$$

No SI, a potência é expressa em **watt (W)**.

Essa quantidade de energia elétrica $E_{el.}$ é transportada pelas cargas elétricas q de um circuito elétrico, por exemplo. A grandeza $E_{el.}$ é proporcional à ddp U entre dois pontos, A e B, o que pode ser representado matematicamente por:

$$E_{el.} = q \cdot U$$

Dividindo os dois membros dessa relação por Δt, tem-se:

$$\frac{E_{el.}}{\Delta t} = \frac{q}{\Delta t} \cdot U$$

Da definição de intensidade de corrente elétrica, temos $i = \frac{q}{\Delta t}$, então:

$$P = i \cdot U$$

Podemos ainda obter outras relações para determinarmos a potência elétrica dissipada por um resistor. Da lei de Ohm, temos: $U = R \cdot i$

Assim,

$$P = i \cdot R \cdot i \Rightarrow P = R \cdot i^2$$

De $i = \frac{U}{R}$, podemos obter outra maneira de calcular a potência elétrica.

$$P = i \cdot U \Rightarrow P = \frac{U}{R} \cdot U \Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

Quando a potência de um aparelho é conhecida, é possível determinar a quantidade de energia elétrica ($E_{el.}$) necessária para o seu funcionamento ao longo do tempo de uso (Δt).

$$E_{el.} = P \cdot \Delta t$$

Uma unidade de medida muito usada para expressar o consumo de energia elétrica é o quilowatt-hora (kWh). No Brasil, essa unidade é empregada na medida de consumo residencial de energia elétrica.

Apesar de o quilowatt-hora ser utilizado para expressar quantidade de energia elétrica, no SI a unidade de medida de energia é o joule (J). A conversão de quilowatt-hora em joule é dada por:

$$1\ \text{kWh} = 1 \cdot 1.000\ \text{W} \cdot 1\ \text{h} = 1.000\ \text{J/s} \cdot 3.600\ \text{s} = \\ = 3.600.000\ \text{J} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}$$

Ao comprar uma lâmpada, um secador de cabelo ou algum outro eletrodoméstico, é importante verificar sua potência elétrica, além de sua tensão elétrica (para saber se é 127 V ou 220 V). Isso porque é a potência que nos dirá se o secador de cabelo esquenta mais ou menos, por exemplo, ou a capacidade de iluminação de uma lâmpada. Além disso, a potência também pode nos ajudar a identificar qual dos modelos de determinado eletrodoméstico consumirá mais ou menos energia elétrica quando em funcionamento pelo mesmo intervalo de tempo.

Potência entregue por um gerador

No estudo dos geradores elétricos, podem-se destacar ainda as potências elétricas envolvidas durante seu funcionamento.

Para determinar a potência, a partir da ddp, multiplicamos a equação da ddp entre os dois terminais do gerador pela corrente elétrica (i) e obtemos:

$$U \cdot i = \varepsilon \cdot i - r \cdot i \cdot i \Rightarrow P_{útil} = P_{total} - P_{dissipada}$$

Em que: $P_{útil} = U \cdot i$; $P_{total} = \varepsilon \cdot i$; $P_{dissipada} = r \cdot i^2$

A potência elétrica útil pode também ser denominada potência fornecida pelo gerador, e a potência total também pode ser chamada de potência gerada.

Note que, como a força eletromotriz ε é sempre maior que a ddp (U) medida entre os terminais, a potência útil é sempre menor que a potência total.

O rendimento (η) de um gerador pode ser definido pela relação:

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon}$$

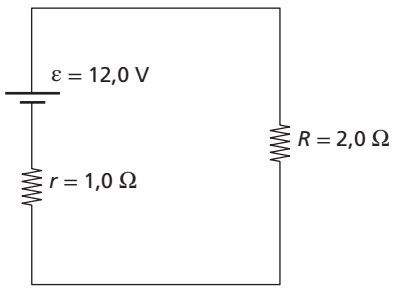
Para um gerador ideal, temos $U = \varepsilon$. Portanto, $\eta = 1$ ou $\eta = 100\%$.

Para um gerador real, temos $U < \varepsilon$. Portanto, $\eta < 1$ ou $\eta < 100\%$.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

O circuito elétrico mostrado a seguir é formado por uma bateria e um resistor.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de um circuito elétrico constituído por uma bateria de resistência elétrica interna *r* e um resistor de resistência *R*.

Determine:

a. a potência elétrica total dessa bateria;

b. a potência elétrica útil da bateria;

c. a potência elétrica dissipada na resistência interna da bateria.

Analisar o enunciado

A situação descrita apresenta um circuito elétrico formado por uma bateria, considerada um gerador real nessa situação, e um resistor. O circuito é de malha simples, ou seja, oferece apenas um caminho para a passagem da corrente elétrica. Pede-se que, com base nos dados apresentados, calcule-se a potência elétrica total, a potência elétrica útil da bateria e a potência dissipada em sua resistência interna.

Selecionar as informações relevantes

Para calcular as potências solicitadas no enunciado, é necessário calcular o valor da intensidade da corrente elétrica (*i*) que percorre o circuito e da tensão elétrica nos terminais da bateria, a ddp *U*.

Aplicar o conceito estudado

Para calcular a intensidade da corrente elétrica que percorre o circuito, podemos aplicar a lei de Pouillet.

$$i = \frac{\varepsilon}{R + r} \Rightarrow i = \frac{12,0}{2,0 + 1,0} \therefore i = 4,0 \text{ A}$$

Assim, a tensão elétrica nos terminais do gerador é dada por:

$$U = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow U = 12,0 - 1,0 \cdot 4,0 \therefore U = 8,0 \text{ V}$$

Conhecendo esses valores, podemos determinar todas as potências relacionadas a um gerador real.

a. A potência elétrica total será dada por:
$P_{total} = \varepsilon \cdot i \Rightarrow P_{total} = 12,0 \cdot 4,0 \therefore P_{total} = 48,0 \text{ W}$

b. A potência elétrica útil pode ser determinada por:
$P_{útil} = U \cdot i \Rightarrow P_{útil} = 8,0 \cdot 4,0 \therefore P_{útil} = 32,0 \text{ W}$

c. A potência elétrica dissipada na resistência interna do gerador será calculada pela expressão:
$P = r \cdot i^2 \Rightarrow P = 1,0 \cdot (4,0)^2 \therefore P = 16,0 \text{ W}$

Verificar a solução

A potência útil de uma bateria é dada pela diferença entre a potência total e a potência dissipada. Com base nos valores obtidos nos itens **a**, **b** e **c**, podemos notar que, de fato:

$$P_{útil} = P_{total} - P_{dissipada} \Rightarrow 32,0 \text{ W} = 48,0 \text{ W} - 16,0 \text{ W}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

13. Uma torneira elétrica tem potência de 2.400 W. Determine, em kWh, a energia elétrica necessária para o funcionamento da torneira por 20 minutos.

13. 0,80 kWh

14. Considere uma bateria de celular que apresenta as seguintes especificações: 3,7 V e 7,4 Wh.

a. Quais grandezas físicas esses valores representam?

b. Se a autonomia do aparelho é de 14,8 h, qual é a corrente elétrica média que circula pelo aparelho?

c. Sabendo que a resistência interna dessa bateria é de 0,5 Ω, qual é a ddp entre os terminais quando percorrida pela corrente elétrica calculada anteriormente?

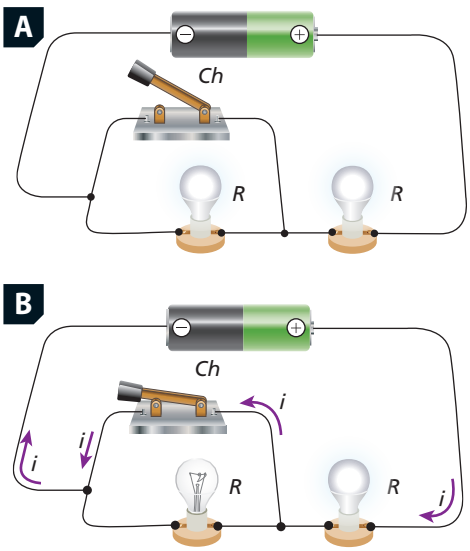
14. a. 3,7 V: força eletromotriz da bateria; 7,4 Wh: energia total acumulada na bateria quando totalmente carregada.
14. b. ≃ 0,1 A
14. c. ≃ 3,6 V

Chaves

Chaves são elementos do circuito elétrico que têm a finalidade de deixar passar, ou não, a corrente elétrica entre dois pontos, dependendo de sua posição. A chave não permite a passagem de corrente elétrica na posição aberta e permite livremente a passagem quando está na posição fechada. Nesse caso, a corrente passa sem impedimento, então a chave funciona como um elemento sem resistência elétrica alguma. Os interruptores são um exemplo de chave.

No circuito mostrado a seguir, na figura A, duas lâmpadas de resistência elétrica *R* são alimentadas por uma pilha, e uma chave (*Ch*) está ligada em paralelo a uma das lâmpadas. Ao ligarmos a chave, dizemos que a lâmpada que se desliga entra em curto-circuito, pois a corrente é desviada para o fio condutor conforme mostrado na figura B. Aqui, não devemos confundir a palavra curto-circuito com seu uso popular, geralmente associado a incêndios e acidentes elétricos. Em eletricidade, **curto-circuito** é uma ligação direta entre dois pontos sem resistência. Assim, o elemento que está em curto-circuito apenas deixa de funcionar.

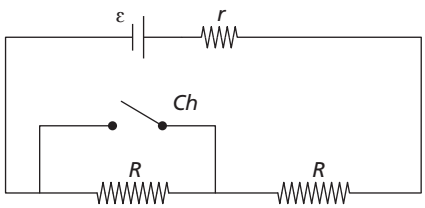
ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



(A) Representação esquemática do circuito elétrico composto de uma pilha, duas lâmpadas e uma chave. **(B)** Ao ligarmos a chave, uma das lâmpadas no circuito elétrico entra em curto-circuito. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Esse circuito elétrico também pode ser representado como na figura a seguir.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do circuito elétrico.

Receptores elétricos

Os patinetes com motor elétrico são uma opção alternativa de transporte em várias cidades do mundo, inclusive no Brasil. Atualmente, em alguns locais, eles podem ser alugados por meio de aplicativo de celular. Assim como em outros dispositivos que se tornam cada vez mais comuns no dia a dia, o funcionamento do patinete elétrico depende da autonomia do seu gerador, no caso, da bateria.

O patinete elétrico é equipado com um motor elétrico que tem a função de transformar energia elétrica em energia mecânica. Todo elemento de um circuito elétrico com essa finalidade, de transformar energia elétrica em energia não elétrica, que não seja energia térmica, é chamado de **receptor**.

FREDERIC REGLAIN/ALAMY/FOTOARENA

Patinetes com motor elétrico em frente ao Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro, RJ (2020).

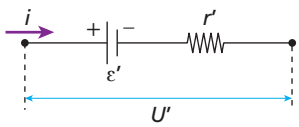
Uma bateria, quando se está recarregando, também é um exemplo de receptor elétrico. A bateria de um aparelho celular, por exemplo, é um gerador quando está fornecendo energia elétrica para o aparelho, mas, quando ligada na rede elétrica para ser recarregada, está recebendo energia; portanto, funciona como um receptor.

Força contraeletromotriz de um receptor

Assim como no gerador, no receptor temos uma razão semelhante entre uma energia fornecida e a carga que passa por ele. A razão entre a energia transformada pelo receptor (se for um motor, será energia mecânica) e a carga é chamada de **força contraeletromotriz** (**fcem**), e a indicamos por ε'. Como toda razão entre energia e carga, ela é medida em volt (V).

Também podemos entender o conceito de força contraeletromotriz da seguinte forma: o receptor é submetido a uma ddp *U* e uma parte dela é utilizada para fazer a máquina funcionar; por exemplo, se for um motor elétrico, para fazê-lo girar. Essa parte da ddp que faz o motor elétrico girar é a força contraeletromotriz.

Como o motor elétrico é constituído de bobinas, que esquentam por efeito Joule, esse receptor, em geral, também tem resistência elétrica interna (*r'*).



Representação esquemática do símbolo de um receptor em um circuito elétrico.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O símbolo do receptor em um circuito elétrico é semelhante ao símbolo do gerador; a diferença é que a corrente elétrica entra pelo polo positivo no receptor.

Como a ddp U à qual o receptor está submetido é a razão entre a energia fornecida a ele e a quantidade de carga que o atravessa, essa energia sofre duas transformações: uma para o funcionamento do receptor em si (realizar trabalho no patinete, por exemplo) e outra correspondente à dissipação de energia por causa da resistência interna.

Pela conservação da energia, a energia total por unidade de carga (U) é a soma da energia transformada pelo receptor (ε'), por unidade de carga, com a energia dissipada pela resistência interna ($r' \cdot i$), por unidade de carga. Portanto, temos:

$$U = \varepsilon' + r' \cdot i$$

Circuito gerador-resistor-receptor

Quando utilizamos dispositivos móveis como *tablets*, *smartphones* e *notebooks*, geralmente nos preocupamos com o tempo de utilização do dispositivo e seu nível de bateria. Para aumentar esse tempo, sem que seja necessária uma tomada ligada à rede elétrica para recarga, podemos utilizar baterias externas para recarregar a bateria interna do dispositivo.

Quando a bateria do dispositivo está sendo recarregada por uma bateria externa, ela recebe energia; logo, comporta-se como um receptor. A bateria externa, que fornece energia, é o gerador. Para não danificar nenhuma das duas baterias, o circuito conta com uma resistência elétrica, um resistor conectado em série com o gerador e com o receptor, para limitar o valor da intensidade de corrente elétrica. Note que a força eletromotriz da bateria externa tem de ser maior que a força contraeletromotriz da bateria do dispositivo para que ela consiga fornecer energia para a bateria que está recarregando.

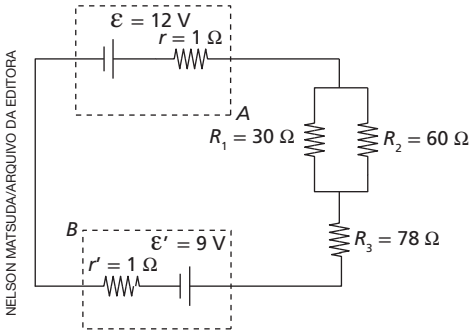
A intensidade de corrente elétrica em um circuito formado por um gerador, um resistor e um receptor em série pode ser calculada por meio da expressão:

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r + r'}$$

Exemplo

Considere uma situação na qual uma bateria (A) com força eletromotriz igual a $\varepsilon = 12\,V$ e $r = 1\,\Omega$ de resistência interna é utilizada para carregar uma segunda bateria (B). Essa bateria B é conectada à primeira por intermédio de três resistores, conforme a figura a seguir.

Como a bateria B está sendo recarregada, ela se comporta como um receptor. Sendo $\varepsilon' = 9\,V$ a força contraeletromotriz da bateria B e $r' = 1\,\Omega$ sua resistência interna, qual é a corrente elétrica que percorre o circuito?



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do circuito elétrico para recarregar a bateria B.

Primeiro, vamos calcular a resistência equivalente dos três resistores externos. A resistência equivalente R' entre os dois resistores em paralelo é:

$$R' = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R' = \frac{30\,\Omega \cdot 60\,\Omega}{30\,\Omega + 60\,\Omega} \therefore R' = 20\,\Omega$$

Essa resistência equivalente R' está associada em série com o resistor de 78 Ω; logo:

$$R = R' + R_3 \Rightarrow R = 20\,\Omega + 78\,\Omega \therefore R = 98\,\Omega$$

Substituindo esse valor na expressão para o cálculo da intensidade de corrente elétrica no circuito gerador-resistor-receptor, temos:

$$i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r + r'} \Rightarrow i = \frac{12\,V - 9\,V}{98\,\Omega + 1\,\Omega + 1\,\Omega} \therefore i = 0{,}03\,A$$

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

15. Entre os exemplos clássicos de receptores estão os motores elétricos em geral, ou aparelhos que têm, nos motores elétricos, seu principal dispositivo de funcionamento. Dê exemplos de alguns aparelhos eletrodomésticos que podem ser considerados receptores.

16. Um motor elétrico está ligado a uma rede elétrica de 127 V. A resistência interna desse motor, devido aos fios que formam o enrolamento do motor, é de $r' = 3\,\Omega$. Quando em funcionamento, a intensidade da corrente elétrica que o percorre é de 12 A. Qual é o valor de sua força contraeletromotriz ε'? 16. $\varepsilon' = 91\,V$

15. Respostas possíveis: ventilador, liquidificador, batedeira de bolo e espremedor elétrico de frutas.

Fique por dentro

Kit virtual para montar circuitos elétricos

ROUNINFAR, A. *et al*. *Kit* para montar circuito DC – Laboratório virtual. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab. Acesso em: 12 out. 2024.

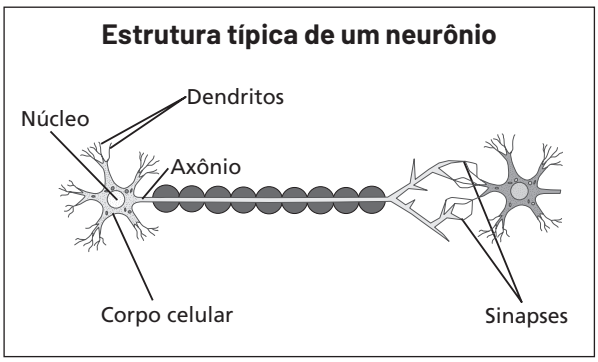
Esse simulador funciona como um laboratório virtual de eletricidade. Com ele, você pode construir circuitos elétricos usando baterias, resistores, lâmpadas e interruptores, além de fazer medições usando um amperímetro ou um voltímetro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. A propagação de um estímulo nervoso é um processo complexo que ocorre em várias fases no sistema nervoso. O estímulo começa com uma mudança no potencial elétrico em uma célula nervosa, que é o neurônio. Quando um neurônio recebe um estímulo suficientemente intenso, ele dispara um impulso elétrico conhecido como potencial de ação. O potencial de ação viaja pelo axônio do neurônio, atravessando o corpo celular e chegando às terminações nervosas localizadas nas extremidades dos axônios. Nas terminações nervosas, o potencial de ação estimula a liberação de neurotransmissores, substâncias químicas que transmitem sinais nervosos entre os neurônios. Os neurotransmissores atravessam uma pequena lacuna entre as terminações nervosas e as células nervosas vizinhas – é a sinapse.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Principles of Anatomy and Physiology**. 13. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

Representação esquemática de um neurônio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Na sinapse, os neurotransmissores se ligam a receptores específicos nas células nervosas vizinhas, desencadeando uma reação química que gera um novo potencial de ação no neurônio seguinte. O processo continua a se repetir até que o estímulo nervoso alcança seu destino, seja um músculo, uma glândula, seja outra área do sistema nervoso.

Considere que, durante a propagação de um estímulo nervoso, $3{,}0 \cdot 10^5$ íons de potássio (K^+) atravessam a membrana de uma célula nervosa em 2,0 ms (milissegundos). Considere a carga elementar $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Determine: 1. a. $4{,}8 \cdot 10^{-14}$ C; 1. b. $2{,}4 \cdot 10^{-11}$ A

a. a quantidade de carga elétrica nessa propagação do estímulo;

b. a intensidade média da corrente elétrica.

2. (Vunesp-SP) Um eletricista, com o intuito de caracterizar um fio metálico de comprimento 10 m e espessura com área da seção transversal igual a 0,3 mm², analisa a tabela de resistividade (ρ) de alguns materiais condutores.

Material	Resistividade (Ω · m)
Prata	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
Cobre	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
Alumínio	$2{,}7 \cdot 10^{-8}$
Tungstênio	$5{,}6 \cdot 10^{-8}$
Ferro	$9{,}6 \cdot 10^{-8}$

Esse eletricista submete esse fio a uma ddp de 9 V e mede, com o auxílio de um amperímetro, uma corrente de intensidade 10 A que o atravessa. De acordo com os dados da tabela e sabendo que a resistência elétrica de um fio condutor é dada por $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$, em que L é o comprimento do fio e A é a área de sua seção transversal, afirma-se que o material de que esse fio é feito é

a. a prata.
b. o cobre.
c. o alumínio.
d. o tungstênio.
e. o ferro.

2. Alternativa **c**.

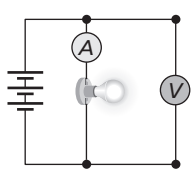
3. Antes de montar um circuito de um aparelho elétrico, uma pessoa resolveu fazer um teste para saber se um de seus resistores é ôhmico. Para isso, fez medições de tensão e corrente elétrica, obtendo os dados a seguir. Após algumas medições, seu medidor apresentou defeito e o quadro não pôde ser completado.

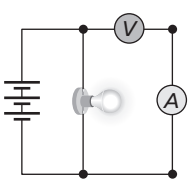
U (V)	3	6	9	15	18
i (A)	0,1	0,2	i_1	0,5	i_2

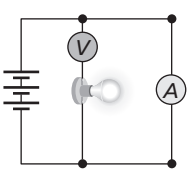
Medidas de tensão (U) e corrente elétrica (i) obtidas durante o teste.

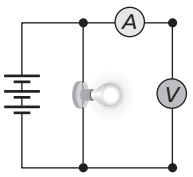
Considerando que o resistor seja ôhmico, quais devem ser os valores de i_1 e i_2? 3. $i_1 = 0{,}3$ A; $i_2 = 0{,}6$ A

4. (Acafe-SC) Em uma atividade experimental um estudante dispõe de um voltímetro V e um amperímetro A. Uma lâmpada de potência desconhecida é ligada a uma fonte de tensão, estabelecendo-se um circuito acrescido de tais medidores. A alternativa correta que mostra a conexão de circuito que permite achar o valor da potência dessa lâmpada é: 4. Alternativa **a**.

a.


c.


b.


d.


ILUSTRAÇÕES: LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Nas especificações técnicas de um chuveiro lê-se 6.050 W – 220 V. Essas informações técnicas que acompanham os manuais ou as etiquetas do aparelho são consideradas valores nominais, isto é, são valores indicados para o funcionamento normal do aparelho. Em relação a esse chuveiro em modo normal de funcionamento, determine: 5. a. 27,5 A 5. b. 8 Ω

a. a intensidade de corrente elétrica que o percorre;

b. o valor de sua resistência elétrica.

6. (Udesc-SC) Considere que o valor médio do kWh é de R$ 0,50. Um chuveiro elétrico tem uma potência de 7.000 W e uma lâmpada tem uma potência de 100 W. Assinale a alternativa que corresponde, respectivamente, ao valor do consumo de energia elétrica, em 30 dias, de uma pessoa que fica em média 20 minutos tomando banho diariamente, e ao valor do consumo de uma lâmpada o dia inteiro ligada. 6. Alternativa **a**.

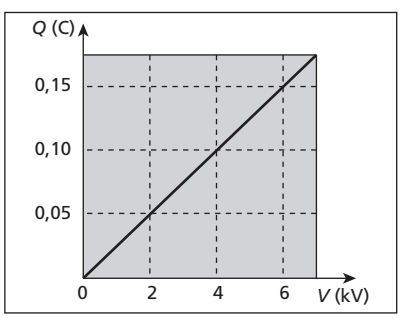
a. R$ 35,00 e R$ 36,00
b. R$ 14,00 e R$ 14,40
c. R$ 35,00 e R$ 14,00
d. R$ 14,00 e R$ 36,00
e. R$ 35,00 e R$ 14,40

7. Os capacitores são dispositivos elétricos usados para armazenar cargas elétricas e, por consequência, energia elétrica. Eles consistem em dois condutores separados por um material isolante, conhecido como dielétrico. A carga armazenada em um capacitor é diretamente proporcional à tensão aplicada. Se um capacitor de capacitância $C = 6{,}0\ \mu F$ é conectado a uma fonte de 12,0 V, determine: 7. a. 72,0 μC 7. b. 432,0 μJ

a. a carga elétrica armazenada;

b. a energia elétrica armazenada.

8. (PUC-PR) Fibrilação ventricular é um processo de contração desordenada do coração que leva à falta de circulação sanguínea no corpo, chamada parada cardiorrespiratória. O desfibrilador cardíaco é um equipamento que aplica um pulso de corrente elétrica através do coração para restabelecer o ritmo cardíaco. O equipamento é basicamente um circuito de carga e descarga de um capacitor (ou banco de capacitores). Dependendo das características da emergência, o médico controla a energia elétrica armazenada no capacitor dentro de uma faixa de 5 J a 360 J. Suponha que o gráfico dado mostra a curva de carga de um capacitor de um desfibrilador. 8. Alternativa **c**.

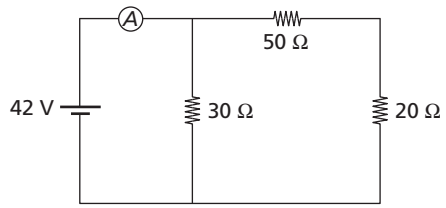


ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O equipamento é ajustado para carregar o capacitor através de uma diferença de potencial de 4 kV. Qual o nível de energia acumulada no capacitor que o médico ajustou?

a. 100 J
b. 150 J
c. 200 J
d. 300 J
e. 400 J

9. (IFPE) Na figura está representado um circuito elétrico contendo um gerador ideal de 42 V com resistência interna desprezível, o qual alimenta três resistores.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Determine o valor da intensidade da corrente elétrica, expressa em amperes, que percorre o amperímetro ideal *A* conectado ao circuito elétrico. 9. Alternativa **d**.

a. 0,42 A
b. 0,60 A
c. 1,4 A
d. 2,0 A
e. 2,4 A

10. (EBMSP-BA) Unidades hospitalares utilizam geradores elétricos para se prevenir de interrupções no fornecimento de energia elétrica. Considerando-se um gerador elétrico de força eletromotriz 120,0 V e resistência interna 4,0 Ω que gera potência elétrica de 1.200,0 W quando ligado a um circuito externo, é correto afirmar, com base nessas informações e nos conhecimentos de eletricidade, que

a. o gerador elétrico transforma energia elétrica em outras formas de energia. 10. Alternativa **e**.

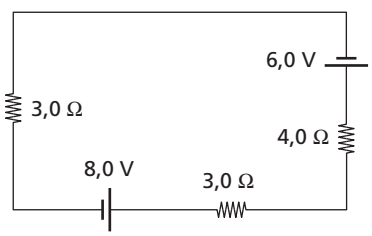
b. a diferença de potencial elétrico entre os terminais do gerador é igual a 110,0 V.

c. a intensidade da corrente elétrica que circula através do gerador é igual a 8,0 A.

d. a potência dissipada em outras formas de energia no interior do gerador é igual a 512,0 W.

e. a potência elétrica que o gerador lança no circuito externo para alimentar as instalações é igual a 800,0 W.

11. (EsPCEx-SP) O desenho a seguir representa um circuito elétrico composto por resistores ôhmicos, um gerador ideal e um receptor ideal. 11. Alternativa **a**.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

A potência elétrica dissipada no resistor de 4 Ω do circuito é:

a. 0,16 W
b. 0,20 W
c. 0,40 W
d. 0,72 W
e. 0,80 W

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 23

Eletromagnetismo

DPA PICTURE ALLIANCE/ALAMY/FOTOARENA

Em espetáculos musicais, caixas de som contam com alto-falantes para a reprodução do som (Hamburgo, Alemanha, 2023).

Os alto-falantes são equipamentos que convertem sinais elétricos em som. Eles são encontrados em dispositivos como caixas de som, fones de ouvido, sistemas de som automotivos e em salas de cinema, por exemplo.

Entre os componentes dos alto-falantes, é possível identificar estruturas que produzem vibrações, necessárias para gerar as ondas sonoras, enrolamentos de fios de cobre, ímãs permanentes, estruturas de suporte e de proteção contra poeira e detritos e terminais de conexão, que permitem a entrada do sinal elétrico que será convertido em som.

A correta associação de componentes elétricos e sua interação com ímãs presentes nesse tipo de dispositivo são responsáveis por seu funcionamento.

Neste capítulo, estudaremos a área da Física conhecida como Eletromagnetismo. Vamos analisar campos magnéticos produzidos por ímãs, suas propriedades e como eles são aplicados no desenvolvimento de diversas tecnologias e dispositivos que utilizamos no dia a dia, como os alto-falantes.

Campo magnético

Vamos iniciar o estudo do Eletromagnetismo pelo conceito de campo, que é utilizado para descrever e explicar desde a queda dos corpos, por meio do campo gravitacional, até fenômenos mais complexos, como um relâmpago, por meio do campo elétrico.

O campo gravitacional é gerado ao redor da matéria, e é mais intenso quanto maior for a massa do corpo e quanto mais próximo dele, como nas proximidades de estrelas, planetas e outros corpos celestes massivos.

Já o campo elétrico é criado ao redor de cargas elétricas. A ocorrência de relâmpagos e o acender de uma lâmpada, por exemplo, estão relacionados com o campo elétrico.

No caso do magnetismo, é possível perceber o efeito do campo ao aproximarmos uma bússola de um ímã e observarmos a sua agulha se mover. No espaço ao redor do ímã, estabelece-se uma região de atuação magnética chamada **campo magnético**. Devido à presença do ímã, o espaço adquire novas propriedades.

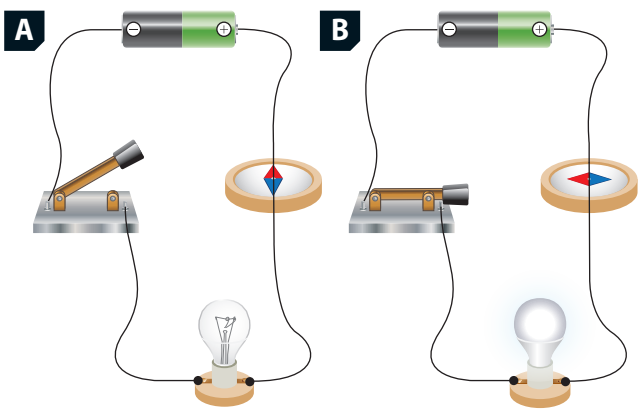
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Experimento de Oersted

Campo magnético é um conceito utilizado para descrever e explicar diversos fenômenos e máquinas, desde o geomagnetismo, que estuda o campo magnético criado pela Terra, até máquinas de ressonância magnética, usadas para criar imagens detalhadas do interior do corpo humano. Assim como o campo gravitacional é gerado pela matéria e o campo elétrico é criado por cargas elétricas, o campo magnético também tem um agente gerador.

Há cerca de duzentos anos, o magnetismo e a eletricidade eram considerados fenômenos distintos. A eletricidade era associada a pilhas e máquinas elétricas, enquanto o magnetismo estava relacionado a ímãs. Em 1819, o físico e químico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) identificou um fenômeno crucial. Ele observou que uma corrente elétrica passando por um fio modificava a posição de uma agulha magnetizada próxima ao fio. No experimento, Oersted posicionou uma bússola de forma que sua agulha ficasse paralela ao fio condutor sem corrente elétrica, conforme mostrado na figura A. Ao estabelecer a passagem de corrente elétrica, ele observou que a posição da agulha se modificava, conforme mostrado na figura B. Isso indicava que ao redor da corrente elétrica era criado um campo magnético. Com isso, Oersted estabeleceu que, assim como os ímãs, as correntes elétricas também criam um campo magnético ao seu redor.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do circuito usado no experimento de Oersted. **(A)** A agulha da bússola é posicionada de forma paralela ao fio condutor do circuito; nessa situação não há corrente elétrica. **(B)** Ao estabelecer uma corrente elétrica, a posição da agulha é alterada, indicando que ao redor da corrente elétrica é criado um campo magnético. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

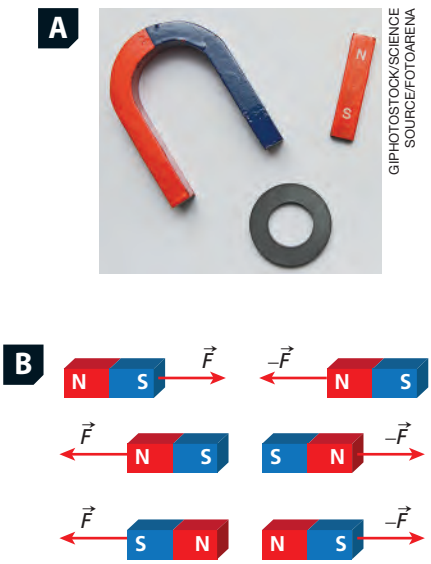
Com esse experimento, Oersted descobriu não apenas que a corrente elétrica é uma fonte de campo magnético, mas também que a eletricidade e o magnetismo estão relacionados, ou seja, não são fenômenos totalmente independentes. A partir daí, cunhou-se o termo **eletromagnetismo**.

Ímãs

Na natureza, podemos encontrar materiais que são atraídos por fontes de campo magnético, chamados de **ferromagnéticos**, geralmente compostos de ferro, níquel ou cobalto. Os **ímãs** são corpos que atraem materiais ferromagnéticos por meio da interação do campo magnético ao seu redor com esses materiais. Ímãs podem ser permanentes ou temporários.

- **Ímãs permanentes** são formados ao aplicar um campo magnético por determinado tempo em um material ferromagnético, processo conhecido como imantação. Após a retirada do campo magnético original, o material passa a criar um campo magnético por si só.
- **Ímãs temporários** são materiais que perdem o campo magnético quando cessa a corrente elétrica. Uma aplicação dos ímãs temporários são os eletroímãs, que podem ser ligados ou desligados, e cuja intensidade do campo magnético está associada à corrente elétrica.

Os ímãs podem ter diferentes formatos e sempre têm dois polos, sendo impossível separar e isolar o polo de um ímã. Até hoje, os cientistas não encontraram monopolos magnéticos. Por convenção, os polos de um ímã são denominados **norte (N)** e **sul (S)**. Polos iguais, norte e norte ou sul e sul, se repelem, enquanto polos diferentes, norte e sul, se atraem.



GIPHOTOSTOCK/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

(A) Ímãs de diferentes formatos, como ferradura, barra e disco. **(B)** Representação esquemática da atração e repulsão entre ímãs.

No comércio, podemos encontrar diversos tipos de ímã, sendo os mais comuns os de ferrita e os de neodímio. Atualmente, os ímãs de neodímio, que são significativamente mais fortes, tornaram-se matéria-prima para diversas aplicações comerciais e industriais. Eles são usados em brinquedos, quadros magnéticos e até mesmo em discos rígidos de computadores.

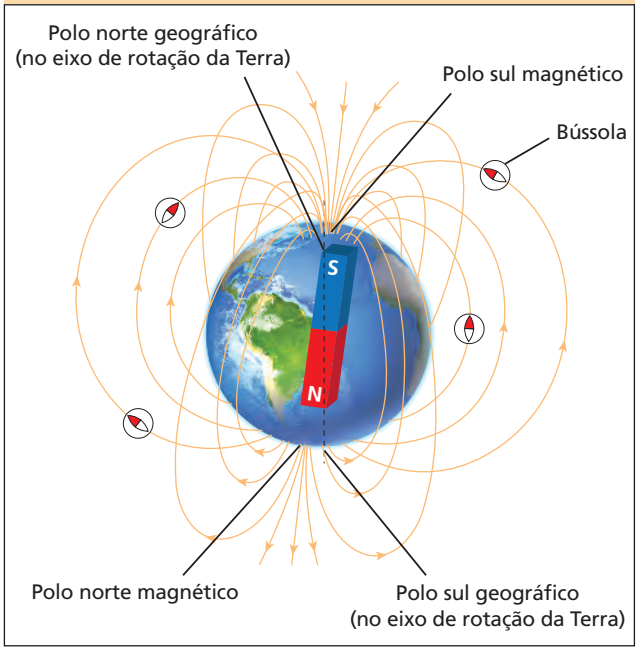
Comente com os estudantes que o geomagnetismo evidenciou que a América do Sul e a África já estiveram unidas, se afastaram e continuam se afastando. Perfurações especiais em amostras de rochas do assoalho oceânico permitiram observar a orientação dos cristais de magnetita no seu interior, sendo ela simétrica partindo do centro do Atlântico para esses dois continentes.

A Terra e o geomagnetismo

A agulha magnetizada de uma bússola, ou mesmo de um ímã pendurado por um fio, tendem a se alinhar com uma direção preferencial nas proximidades da Terra. Isso demonstra que o planeta é uma fonte de campo magnético. A extremidade da agulha da bússola que aponta para o norte geográfico é a extremidade norte da agulha do ímã, e a que aponta para o sul geográfico é a extremidade sul da agulha do ímã. Dessa forma, podemos afirmar que os polos geográficos e magnéticos são praticamente invertidos entre si.

Interação do campo magnético terrestre com uma bússola

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. **Física**: Mecânica. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. v. 1.

Representação do campo magnético da Terra. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como o norte da agulha de uma bússola aponta para um ponto próximo ao polo norte geográfico, o Ártico se comporta como um polo sul magnético, ou seja, o campo magnético da Terra sai de uma região na Antártida e entra em uma região no Ártico. Assim, o geomagnetismo terrestre comporta-se de maneira semelhante a um grande ímã em forma de barra.

O campo magnético da Terra é gerado pela parte líquida do núcleo do planeta, composta principalmente de ferro e níquel, que está em constante movimento devido a diferenças de temperatura interna da Terra. A rotação da Terra também desempenha um papel importante na geração do campo magnético, na forma do chamado efeito dínamo, que descreve a geração de um campo magnético por meio da rotação de um fluido condutor elétrico.

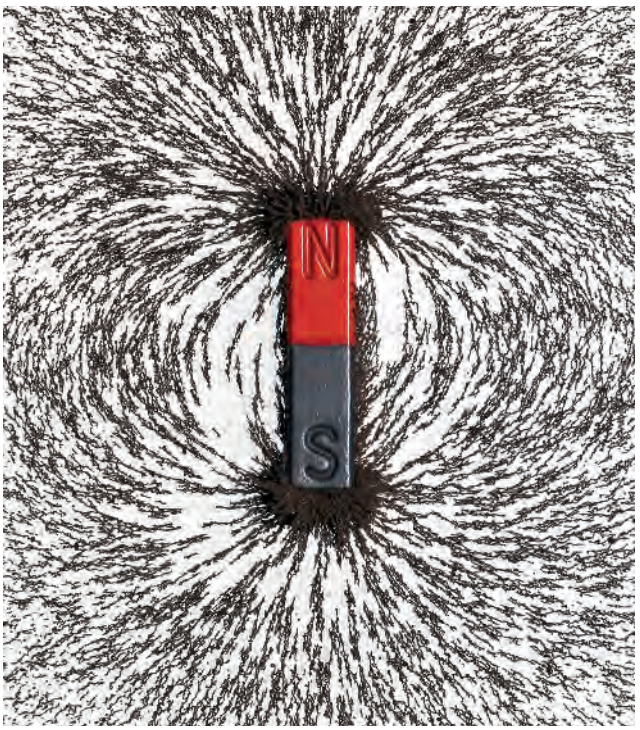
Uma das principais funções do campo magnético terrestre é proteger a atmosfera terrestre contra as partículas carregadas provenientes do vento solar, uma corrente de partículas e radiação emitidas pelo Sol. Outro efeito importante do campo magnético terrestre é a influência nos deslocamentos de animais migratórios, como baleias e golfinhos, que possuem um sentido magnético natural que lhes permitem navegar com precisão em longas distâncias.

Enquanto diversas tecnologias utilizam diretamente o campo magnético terrestre para seu funcionamento, outras são afetadas por instabilidades desse campo, como os satélites de comunicação, responsáveis pela transmissão de dados e distribuição de informações globalmente por meio de ondas eletromagnéticas. As variações do campo magnético terrestre podem resultar em falha na transmissão desses dados por interferência em determinados comprimentos de onda, por exemplo.

Linhas de indução e o vetor campo magnético

Agulhas magnetizadas ou pequenos pedaços de limalha de ferro podem ser utilizados para verificar a existência de campo magnético em uma região. Uma forma de visualizar a direção do campo magnético em uma região é espalhando limalha ou pó de ferro próximo a um ímã e analisando sua configuração.

As limalhas de ferro se acumulam nos polos e formam linhas que representam o campo magnético. Essas linhas são chamadas de **linhas de indução** ou **linhas de campo**.



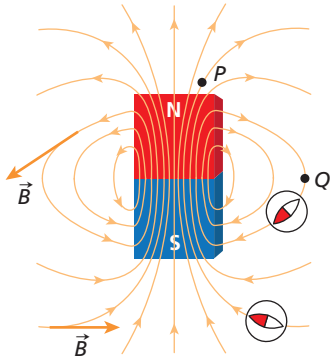
CORDELIA MOLLOY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

Limalhas de ferro ao redor de um ímã.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O campo magnético pode ser representado em cada ponto da linha de indução pelo **vetor indução magnética** $(\vec{B})$ ou **vetor campo magnético**. A direção de $\vec{B}$ é tangente à linha de campo que passa pelo ponto, e o sentido é saindo do polo norte do ímã e indo até o polo sul.

De maneira geral, as linhas de campo são linhas imaginárias tangentes ao campo magnético. Nas regiões onde o campo é mais intenso, as linhas de campo estão mais próximas. Conforme a figura, no ponto *P*, as linhas estão mais próximas, indicando um campo magnético mais intenso do que no ponto *Q*, onde as linhas estão mais espaçadas.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação das linhas de campo e do vetor campo magnético em determinados pontos, sempre tangente à linha de campo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Se uma pessoa quebrar um ímã em duas partes, cada pedaço terá um polo norte e um polo sul. Essa divisão pode ser feita sucessivamente até atingir níveis microscópicos, em que cada ímã é denominado **ímã elementar**. O fato de o polo norte magnético estar sempre acompanhado de um correspondente sul é conhecido como **inseparabilidade dos polos magnéticos**. Portanto, não existe um ímã com apenas um polo. Uma afirmação equivalente é que toda linha de campo magnético é fechada. Se existisse um norte magnético isolado, um campo magnético poderia ser criado nesse norte e se estender ao infinito.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Campo magnético em um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica

Em sistemas de para-raios, evita-se utilizar apenas um condutor de descida retilíneo para levar a corrente elétrica até a terra. Isso é feito para que o campo magnético criado pela corrente elétrica no condutor de descida não afete os equipamentos eletrônicos no interior dos edifícios onde está instalado o sistema. Além disso, condutores retilíneos são sempre utilizados para encurtar o caminho.

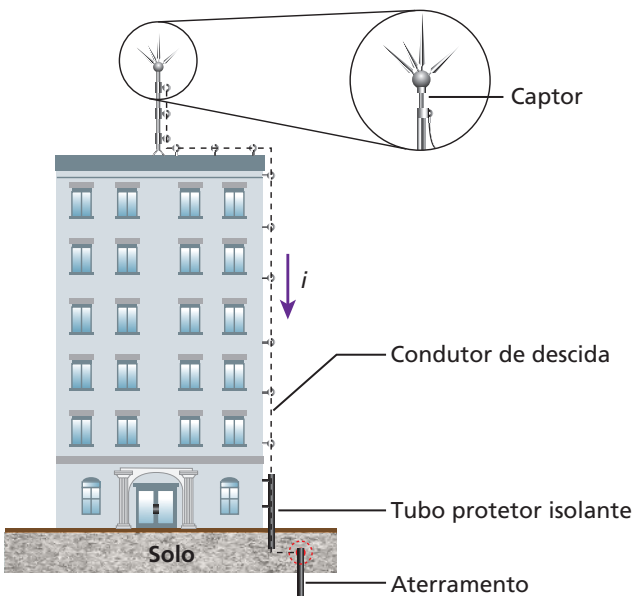
Vamos considerar um sistema de para-raios instalado em um prédio com apenas um condutor de descida, que conduz a corrente elétrica proveniente dos raios até o solo, conforme mostrado a seguir.

Se analisarmos uma região próxima da parte central do condutor, podemos fazer uma aproximação e considerar o condutor como muito longo; matematicamente, dizemos que seu comprimento tende ao infinito.

Analisando essa situação, como seriam as linhas de campo magnético ao redor do condutor de descida? Sabemos que elas são sempre fechadas. Portanto, a única possibilidade para a geometria das linhas de campo ao redor do condutor vertical, obedecendo à simetria ao redor do condutor e considerando que, à mesma distância dele, o campo tenha igual valor, é a de que as linhas de campo sejam circulares com centro no condutor.

Portanto, o campo magnético ao redor de um condutor retilíneo muito longo forma linhas circulares em um plano perpendicular a ele e com centro no condutor.

Ainda considerando essa situação, qual seria o sentido do campo magnético criado pelo condutor retilíneo? Já sabemos que as linhas de campo são circulares, mas o campo que acompanha essa linha aponta para qual dos dois sentidos possíveis?

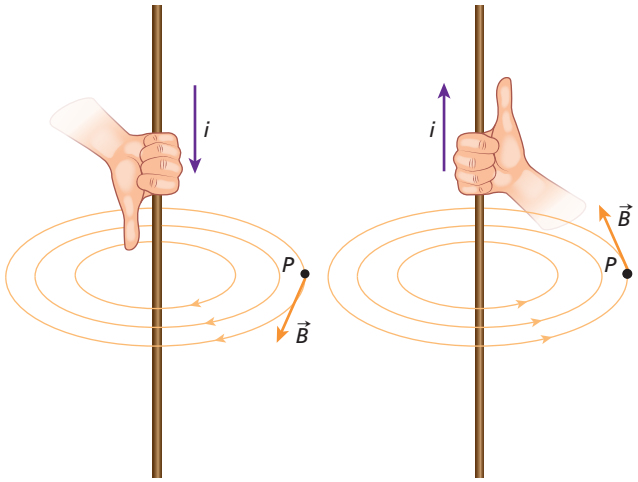


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do sistema de para-raios com condutor de descida. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Para determinar o sentido, utilizamos uma regra prática chamada **regra da mão direita**: posicionamos o polegar da mão direita paralelamente à direção da corrente elétrica, com o dedo apontando no mesmo sentido da corrente; desse modo, os outros dedos apontarão no sentido das linhas de campo magnético, ao redor do condutor retilíneo. O vetor campo magnético será sempre tangente à linha de campo em determinado ponto.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática da regra da mão direita. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

E qual seria a intensidade do campo magnético criado pelo condutor retilíneo muito longo? Com equações desenvolvidas pelos físicos André-Marie Ampère (1775-1836) e James Clerk Maxwell (1831-1879), pode-se demonstrar que a intensidade (B) do campo magnético criado por um condutor retilíneo muito longo em um ponto no vácuo a uma distância d do condutor, longe das suas extremidades, pode ser calculada pela expressão:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Em outras palavras, a intensidade do campo magnético é diretamente proporcional à intensidade de corrente elétrica (maior corrente, maior campo na mesma proporção) e inversamente proporcional à distância (maior distância, menor campo). A constante μ é chamada de **permeabilidade magnética do meio**, que no vácuo vale:

$$\mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\ (\mathrm{T \cdot m})/\mathrm{A}$$

A permeabilidade magnética do ar é muito próxima à do vácuo, e a razão entre elas $\left(\frac{\mu_{ar}}{\mu_0}\right)$ é igual a 1,00000037. Portanto, vamos considerá-las iguais. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida do campo magnético é o **tesla (T)**, em homenagem ao engenheiro e cientista Nikola Tesla (1856-1943).

Em fios condutores retilíneos, a passagem da corrente elétrica gera um campo magnético ao redor dele. No entanto, o valor do campo ao redor do fio terá baixa intensidade.

Notação dos sentidos dos vetores

Como no estudo do Eletromagnetismo os vetores podem apontar em diversos sentidos no espaço, utilizamos dois símbolos especiais: um que representa o vetor entrando no plano (figura A) e um que representa o vetor saindo do plano (figura B).

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de vetores que entram em um plano e saem de um plano, com os respectivos símbolos representados no plano desta página. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

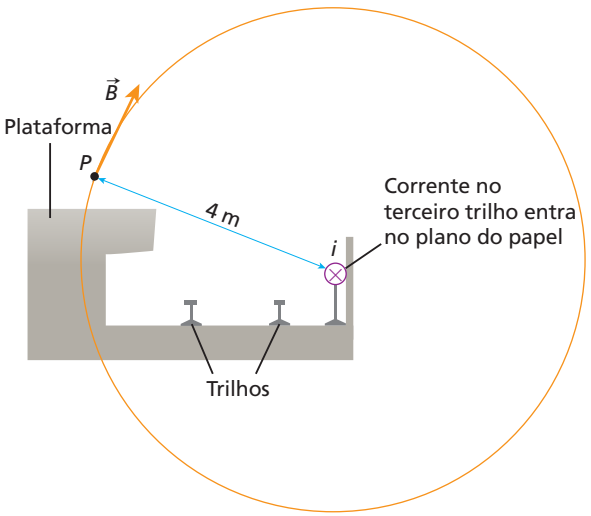
Exemplo

Para alimentar o motor elétrico das composições, as linhas de metrô utilizam um dispositivo chamado terceiro trilho. Considere que pelo terceiro trilho passe uma corrente elétrica de 4 kA. Quais são a intensidade, a direção e o sentido do campo magnético em um ponto sobre a plataforma, a 4 m do trilho?

RUBENS CHAVES/PULSAR IMAGENS

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Terceiro trilho condutor de corrente elétrica em linha do metrô do Rio de Janeiro, RJ (2016).



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do campo magnético ao redor do terceiro trilho e passando por um ponto P sobre a plataforma. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

1. As linhas de campo magnético geradas por um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica são formadas por círculos concêntricos ao redor do fio. A direção das linhas segue a regra da mão direita. O vetor campo magnético aponta na direção tangente às linhas de campo em cada ponto ao redor do condutor.

Usando a regra da mão direita, a linha do campo magnético tem a forma circular orientada no sentido horário, uma vez que, na figura, a corrente está entrando no plano do papel. Como a direção do campo é tangente à linha de força, no ponto *P* a direção e o sentido do campo magnético são mostrados na ilustração.

A intensidade do campo magnético nesse ponto pode ser calculada como:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d} \Rightarrow B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^{3}}{2 \cdot \pi \cdot 4} \therefore B = 2 \cdot 10^{-4}\ \text{T}$$

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre — Registre em seu caderno

1. Considerando um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica, descreva a orientação das linhas de campo magnético e o vetor campo magnético gerados pelo condutor.
2. Um fio condutor retilíneo e longo é percorrido por corrente elétrica de intensidade 100 A. Qual será a intensidade do campo magnético em um ponto situado a 0,5 m de distância desse fio? 2. $4 \cdot 10^{-5}$ T

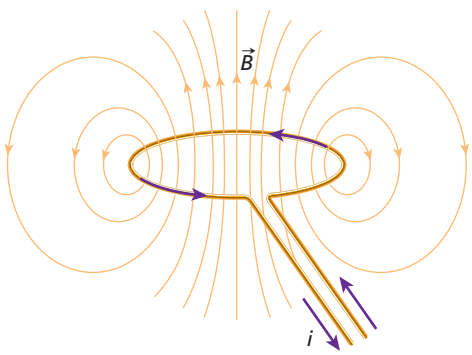
Espiras e solenoides

Quando queremos obter intensidades de campo magnético maiores do que a do campo magnético da Terra, sem alterar a intensidade da corrente elétrica e o meio em que um condutor está imerso, podemos alterar a geometria dos condutores. Com essa finalidade, usamos espiras e solenoides.

Campo magnético em uma espira percorrida por corrente elétrica

Espira é um fio condutor enrolado que forma uma circunferência. Em uma espira circular com raio *R* percorrida por uma corrente de intensidade *i*, a intensidade do campo magnético no seu centro é calculada por:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$$

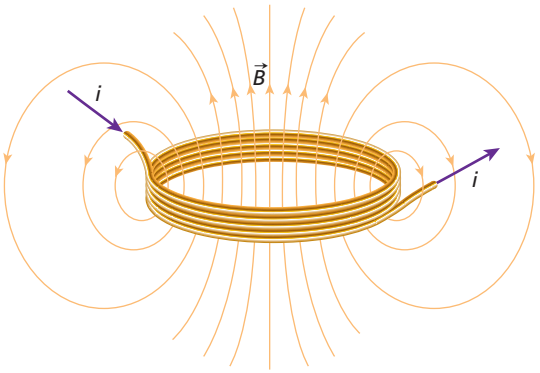


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Campo magnético em uma espira circular percorrida por corrente elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

As espiras também podem ser superpostas, formando uma bobina achatada. Para uma bobina chata com *N* espiras de raio *R*, a intensidade do campo magnético no seu centro é dada por:

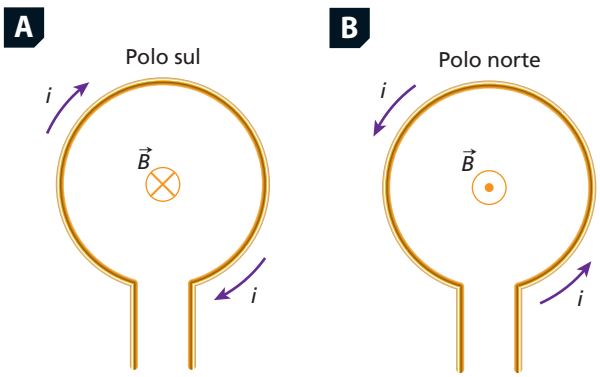
$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R} \cdot N$$



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Campo magnético em uma bobina chata percorrida por corrente elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Se olharmos para a espira, ou bobina achatada, observando o enrolamento de forma circular, com a corrente circulando no sentido horário ou anti-horário, de acordo com a regra da mão direita, no centro da espira ou bobina achatada, o campo magnético entra no plano da espira, neste caso no plano do papel, se o sentido da corrente elétrica for horário (figura A) e sai do plano se o sentido da corrente for anti-horário (figura B).



ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação de espiras ou bobinas chatas. **(A)** Correntes elétricas no sentido horário geram um campo magnético que entra pelo centro da espira. **(B)** Para correntes elétricas no sentido anti-horário, o campo magnético sai pelo centro da espira. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Note que espiras circulares percorridas por corrente elétrica ficam com suas faces polarizadas, isto é, podem ser consideradas análogas aos polos de um ímã (sul e norte). No caso de corrente elétrica no sentido horário, que gera no centro da espira um campo magnético entrando no plano, temos um polo sul, enquanto uma corrente elétrica circulando no sentido anti-horário, que gera no centro da espira um campo magnético saindo do plano, temos um polo norte.

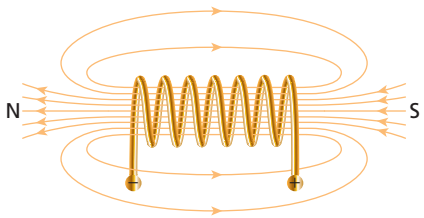
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Campo magnético em um solenoide percorrido por corrente elétrica

Em um solenoide, o fio é enrolado na forma helicoidal. A forma mais simples de construir um solenoide é enrolando um fio ao redor de um cilindro-base. No solenoide, sua altura não é desprezível quando comparada com o seu raio, como no caso da bobina achatada.

Com um solenoide, obtém-se um campo magnético praticamente uniforme em seu interior, exceto na região próxima das bordas, onde a intensidade do campo magnético diminui. Em um campo magnético uniforme, todos os pontos têm a mesma intensidade, e as linhas de campo são paralelas e equidistantes entre si.

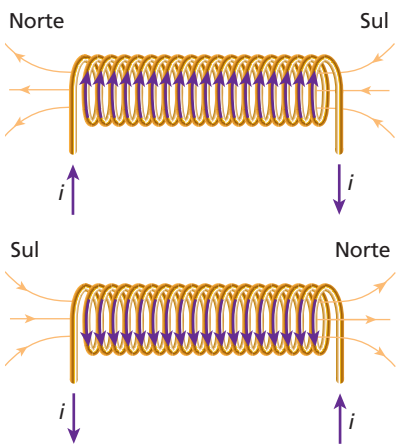
ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Representação do campo magnético criado por um solenoide. No interior do solenoide, o campo magnético é praticamente uniforme. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A direção e o sentido do campo magnético são dados pela regra da mão direita.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Representação dos polos de solenoides determinados pela regra da mão direita. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

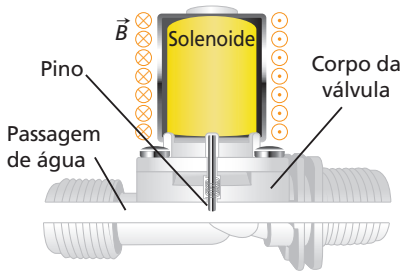
Para um solenoide com comprimento L, formado por N espiras, a intensidade do campo magnético pode ser calculada utilizando a expressão:

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot i}{L}$$

Uma aplicação prática de solenoides se dá nas máquinas de lavar roupas. Nos ciclos de lavagem, há momentos em que a água é inserida na máquina e outros em que a água é despejada para fora. Para controlar quando a água entra na máquina e quando sai dela, existem válvulas elétricas, chamadas válvulas solenoides.

A partir da corrente elétrica na válvula, é possível controlar a posição de um pino feito com material magnetizável.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática da válvula solenoide. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Exemplo

Considere que o solenoide de uma válvula tenha 400 voltas, comprimento de 4 cm e que por ele passe uma corrente elétrica de 1 A. Qual é a intensidade do campo magnético criado dentro do solenoide?

A intensidade do campo magnético no interior do solenoide é dada por:

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot i}{L} \Rightarrow B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 400 \cdot 1}{0{,}04} \therefore B \simeq 0{,}013\ \text{T}$$

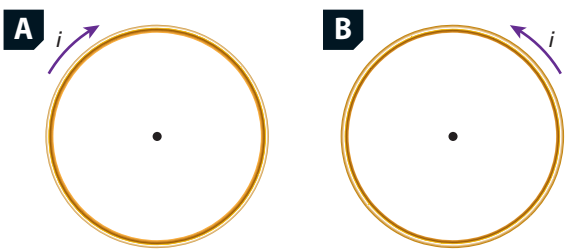
Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Aplique e registre

Registre em seu caderno

3. A figura a seguir mostra uma mesma espira sendo percorrida por corrente elétrica, ora no sentido horário, ora no anti-horário.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação de uma espira percorrida por corrente elétrica **(A)** no sentido horário e **(B)** no sentido anti-horário.

Aplicando a regra da mão direita, determine o sentido do campo magnético no centro da espira em cada uma das situações apresentadas. Em seguida, determine a polaridade magnética do ponto de vista do leitor.

4. Considere um solenoide longo e ideal, com comprimento fixo, percorrido por corrente elétrica constante.

a. Mantendo-se a corrente elétrica e o comprimento do solenoide constantes, o que acontece com a intensidade do campo magnético dentro do solenoide quando o número de espiras é aumentado?

b. Nessa mesma situação, o que acontece com a intensidade do campo magnético dentro do solenoide quando o número de espiras é diminuído?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. Pela regra da mão direita, na figura A o campo magnético está entrando no plano da espira, formando um polo sul, e na figura B o campo está saindo do plano da espira, formando um polo norte.

4. a. Quando o número de espiras é aumentado, a intensidade do campo magnético também aumenta.
4. b. Quando o número de espiras diminui, a intensidade do campo magnético também diminui.

Força magnética sobre partículas carregadas em movimento

O Sol não emite apenas luz visível, radiação ultravioleta e infravermelha. Grande parte da massa do Sol é composta de prótons, provenientes de átomos de hidrogênio que perderam seus elétrons. Nessas altíssimas temperaturas, prótons e elétrons movem-se de forma desordenada e em alta velocidade. Com frequência, essas partículas escapam do Sol em direção ao espaço, formando o chamado vento solar.

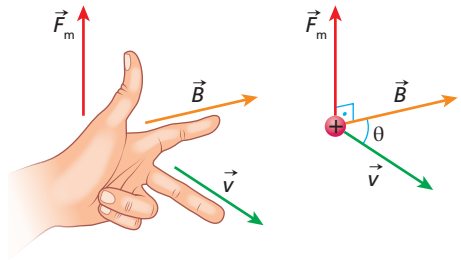
Muitas dessas partículas, como prótons e elétrons, atingem a Terra em velocidades altíssimas, próximas à velocidade da luz. O constante bombardeio de partículas em alta velocidade poderia causar sérios danos às camadas superiores da atmosfera, comprometendo a camada de ozônio, que bloqueia parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol. No entanto, a Terra possui uma proteção natural, o campo magnético terrestre, que atua como uma barreira contra essas partículas. Isso ocorre porque cargas elétricas em movimento, quando submetidas a um campo magnético, sofrem a ação de uma força chamada **força magnética ($\vec{F}_m$)**. A força magnética pode ser nula se a velocidade da partícula for paralela ao campo magnético, mas, em outros casos, ela pode desviar a trajetória das partículas. No entanto, uma fração dessas partículas consegue atravessar a barreira e interagir com a alta atmosfera, produzindo as luzes que caracterizam as auroras boreais e austrais, efeitos luminosos causados por interações químicas entre os ventos solares e os gases da atmosfera. As linhas luminosas verticais correspondem a fluxos intensos de partículas canalizados pelas linhas de força do campo magnético terrestre.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Carga elétrica em movimento em um campo magnético uniforme

A primeira propriedade da força magnética aplicada em cargas elétricas em movimento dentro de um campo magnético uniforme é que ela apenas desvia a direção da velocidade, não tornando o movimento mais rápido nem mais devagar. Como a força magnética apenas altera a direção do movimento, ela possui sempre direção perpendicular à velocidade. Uma forma prática de determinar a direção da força magnética é por meio da **regra da mão esquerda**. Nessa regra, alinhamos o dedo indicador com o campo magnético e o dedo médio na direção do movimento da partícula.

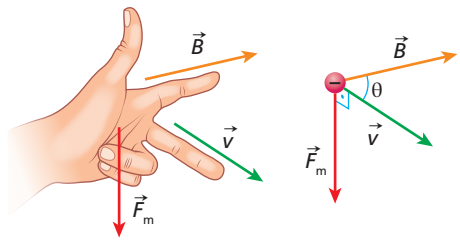
- Se a carga elétrica for positiva, a força terá direção e sentido dados pelo polegar, sempre perpendicular à velocidade e ao campo.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Regra da mão esquerda para o sentido da força magnética no caso em que a carga elétrica é positiva. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- Se a carga elétrica for negativa, a força aplicada terá sentido oposto ao dado pela regra anterior.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática da regra da mão esquerda para o sentido da força magnética no caso em que a carga elétrica é negativa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quanto mais rapidamente a partícula passa pelo campo, maior é a intensidade da força magnética aplicada sobre ela. No entanto, a força magnética possui uma particularidade quando comparada às forças aplicadas por outros campos, como a elétrica e a gravitacional, pois sua intensidade depende da direção da velocidade em relação ao campo. Ela é máxima quando a velocidade é perpendicular ao campo, e nula quando são paralelos. Dessa forma, podemos resumir todas essas propriedades da força magnética aplicada sobre uma partícula em movimento. Sendo θ o ângulo que a velocidade v forma com o campo magnético B, a intensidade da força magnética é dada por:

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \theta$$

Note que, para $\theta = 0°$ ou $\theta = 180°$, a intensidade da força é zero e, para $\theta = 90°$, a intensidade da força é máxima.

Essa força é conhecida como **força magnética de Lorentz**.

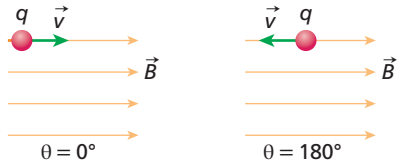
Movimentos particulares de uma carga elétrica em um campo magnético uniforme

O movimento particular que uma carga elétrica executa quando penetra numa região onde há um campo magnético uniforme depende do modo como ela penetra no campo. Analisaremos a seguir três casos distintos.

Caso 1: Carga elétrica lançada na mesma direção do campo magnético.

Nesse caso: $\theta = 0°$ ou $\theta = 180°$, ($\vec{v} \parallel \vec{B}$).

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Carga em movimento dentro de um campo magnético uniforme em duas situações distintas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sendo $\text{sen } 0° = 0$ e $\text{sen } 180° = 0$, da expressão da intensidade da força magnética, temos:

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \theta$$

Portanto, nesse caso:

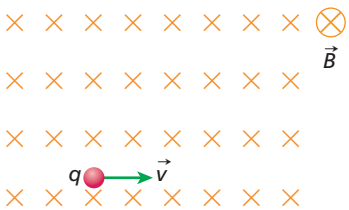
$$F_m = 0$$

Note que a carga elétrica lançada na mesma direção das linhas de um campo magnético uniforme realiza um movimento retilíneo e uniforme (MRU).

Caso 2: Carga elétrica lançada perpendicularmente às linhas de indução do campo magnético uniforme.

Neste caso: $\theta = 90°$ ($\vec{v} \perp \vec{B}$).

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



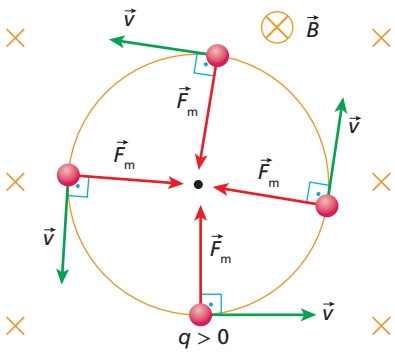
O vetor velocidade e o vetor campo magnético são perpendiculares entre si. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sendo $\text{sen } 90° = 1$, então $F_m = |q| \cdot v \cdot B$.

Essa expressão mostra que a força magnética tem intensidade máxima e constante. Assim, a carga elétrica está sob ação de uma força de intensidade constante, cuja direção é perpendicular ao vetor velocidade ($\vec{v}$). A força magnética e o vetor velocidade definem um plano perpendicular ao campo magnético.

Nessa situação, a força magnética atua como resultante centrípeta e o movimento descrito pela partícula será um MCU, como mostra a figura a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



A partícula descreve um movimento circular e uniforme quando o vetor velocidade é perpendicular ao vetor campo magnético. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Podemos determinar o raio R descrito pela partícula de massa m nessa situação:

$$F_m = F_c \Rightarrow |q| \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

O período (T), ou seja, o tempo necessário para uma volta completa nessa trajetória circular também pode ser determinado.

A intensidade da velocidade v pode ser expressa em função do período (T) pela relação:

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

Substituindo-se nessa expressão a fórmula deduzida para o raio, tem-se:

$$v = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

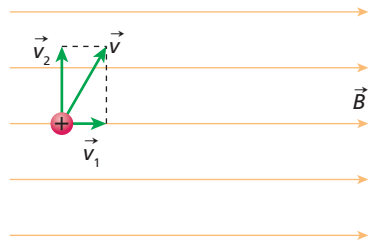
Eliminando-se a velocidade v nos dois membros e isolando-se o período T, temos:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B}$$

Caso 3: Carga elétrica lançada obliquamente ao campo magnético.

A análise desse movimento torna-se relativamente mais simples quando se decompõe a velocidade $\vec{v}$ em duas componentes perpendiculares entre si ($\vec{v_1}$ e $\vec{v_2}$).

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

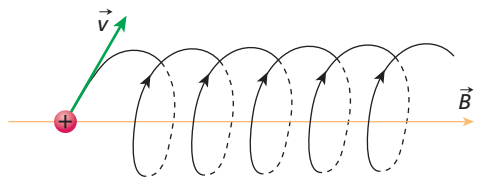


A componente $\vec{v_1}$ é paralela e a componente $\vec{v_2}$ é perpendicular ao campo $\vec{B}$. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A componente ($\vec{v_1}$) que tem a mesma direção de $\vec{B}$ permanece constante e, ao longo dessa direção, a partícula descreve um MRU (note que esta componente nos remete ao caso 1).

A componente ($\vec{v_2}$) que tem direção perpendicular ao campo $\vec{B}$ determina que a partícula execute um MCU (essa componente nos remete ao caso 2). A composição simultânea desses dois movimentos é um movimento helicoidal e uniforme. A trajetória é uma hélice cilíndrica com eixo paralelo às linhas de indução do campo.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Representação da trajetória descrita, denominada hélice cilíndrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

5. Uma carga elétrica colocada em repouso dentro de um campo magnético fica submetida à ação de uma força magnética?

6. Qual é a fórmula matemática que descreve a força magnética de Lorentz? Considerando as relações entre os ângulos formados pelo vetor velocidade e o campo magnético indicadas por essa fórmula, descreva o que acontece com a força magnética quando uma partícula carregada se move paralelamente e no mesmo sentido do campo magnético.

7. Quais são os três tipos de movimento possíveis quando uma partícula eletrizada é lançada em um campo magnético uniforme?

5. Não. A força magnética só atua em cargas em movimento. Partículas em repouso não sentem a ação de forças magnéticas.

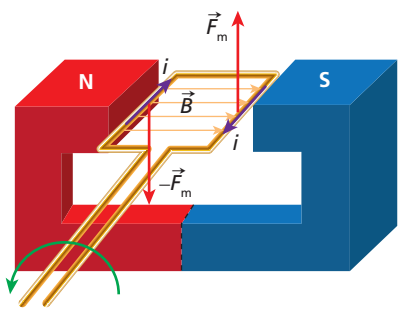
6. A fórmula é dada por $F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta$, em que F_m representa a intensidade da força magnética, q é a carga elétrica, v é a intensidade da velocidade da carga, B é a intensidade do campo magnético e θ é o ângulo formado entre as direções da velocidade e do campo magnético. Nesse caso, o ângulo θ entre o vetor velocidade e o campo magnético é igual a zero e a força magnética será nula, não havendo desvio na trajetória da carga.

7. Movimento retilíneo uniforme, movimento circular uniforme e movimento helicoidal uniforme.

Força magnética em um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica

O que um trem do metrô, uma máquina de lavar, um liquidificador, uma escada rolante e um ventilador têm em comum? A resposta é: todas essas máquinas têm um motor elétrico que realiza trabalho a partir da energia elétrica. Oersted identificou que um fio percorrido por uma corrente elétrica interage com uma agulha magnetizada. Ampère foi um pouco além e considerou que, se um fio percorrido gera algum campo magnético ao seu redor, então ele deve interagir com outro fio, que também gera campo magnético ao seu redor. Foi com base nessas ideias que surgiram os conceitos necessários para a invenção do motor elétrico.

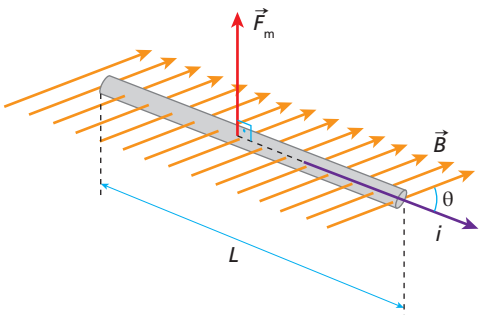
Em um motor elétrico, aplica-se um campo magnético, que pode ser criado por um ímã permanente ou por um conjunto de bobinas. Além disso, na parte interior do motor há corrente elétrica atravessando o fio que forma a espira. A interação entre o campo magnético aplicado e a corrente no fio condutor gera a força necessária para fazer o motor girar.



Representação esquemática de um motor elétrico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Isso acontece porque uma corrente elétrica nada mais é do que cargas elétricas em movimento ordenado em um condutor. Ou seja, se cargas elétricas em movimento ficam sujeitas à força magnética, então uma corrente em um campo magnético também sofre a ação de uma força dessa natureza.

Vamos analisar um condutor retilíneo com comprimento L. Esse condutor é percorrido por corrente elétrica i e está imerso em um campo magnético uniforme de intensidade B. Para determinar o sentido dessa força, podemos usar a regra da mão esquerda, mas antes devemos saber o sinal da carga que está em movimento. Em uma corrente elétrica em um condutor, as cargas em movimento são negativas. Porém, o movimento ordenado delas se dá no sentido contrário ao sentido da corrente.

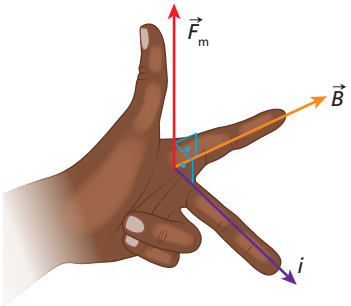


Força magnética aplicada em condutor imerso em campo magnético uniforme e percorrido por corrente elétrica. (Imagem sem escala; cores fantasia.)

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Regra da mão esquerda, indicando as direções e os sentidos da força, do campo magnético e da corrente elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Por esse motivo, para determinar o sentido da força magnética aplicada sobre correntes, utilizamos a regra da mão esquerda em cargas positivas alinhando o dedo médio à corrente.

A intensidade da força magnética (F_m) pode ser calculada como:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \theta$$

A corrente no condutor é $i = \frac{q}{\Delta t}$ e o tempo médio de travessia das cargas pelo condutor com comprimento L é $\Delta t = \frac{L}{v}$; logo:

$$i = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow i = q \cdot \frac{v}{L} \Rightarrow q = i \cdot \frac{L}{v}$$

Substituindo na equação da intensidade da força magnética, temos:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \theta \Rightarrow F_m = \frac{i \cdot L}{v} \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \theta \Rightarrow F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \operatorname{sen} \theta$$

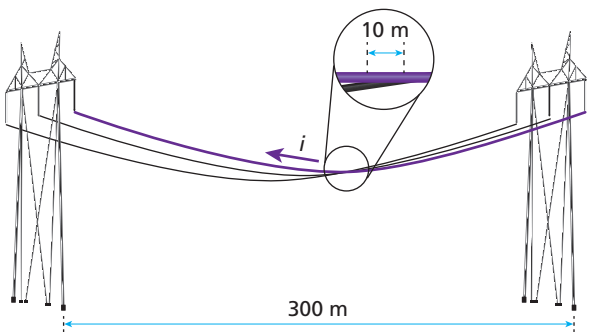
Portanto, a intensidade da intensidade da força magnética depende tanto da corrente elétrica quanto da intensidade do campo magnético.

Para determinarmos a direção e o sentido dessa força, ou seja, sua orientação no espaço, também utilizamos a regra da mão esquerda, conforme a figura.

Exemplo

Considere uma linha de transmissão de energia elétrica com um cabo pelo qual passa corrente elétrica de intensidade 2 kA. Entre uma torre e outra, a forma que o cabo assume é bem distante de uma forma retilínea, porém, para um segmento de 10 m de cabo, podemos aproximá-lo para uma forma retilínea.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

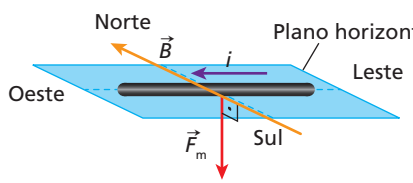


Representação esquemática de torres de uma linha de transmissão de energia elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Considere, em um segmento de 10 m no ponto mais baixo de um cabo, que a corrente elétrica flui no sentido leste-oeste. Sendo o campo magnético da Terra nesse ponto de intensidade 20 μT, quais são a direção, o sentido e a intensidade da força magnética aplicada pelo campo magnético terrestre nesse segmento de cabo? Avalie se essa força é significativa ou desprezível.

De acordo com a regra da mão esquerda, a direção e o sentido da força magnética aplicada nesse segmento são vertical e para baixo. Isso significa que, se a intensidade da força magnética for significativa, o peso aparente do cabo será maior.

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA



Representação esquemática do campo magnético terrestre, da corrente elétrica e da força magnética aplicada em um segmento de cabo de uma linha de transmissão de energia elétrica. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como o ângulo entre a corrente e o campo magnético terrestre é 90°, o valor da intensidade da força magnética nesse segmento é:

$$F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \operatorname{sen} \theta \Rightarrow F_m = 20 \cdot 10^{-6}\ \text{T} \cdot 2.000\ \text{A} \cdot 10\ \text{m} \cdot \operatorname{sen} 90° \therefore F_m = 0{,}4\ \text{N}$$

Esse valor é desprezível quando comparado com o peso de 1 m de cabo de alta tensão utilizado na linha de transmissão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

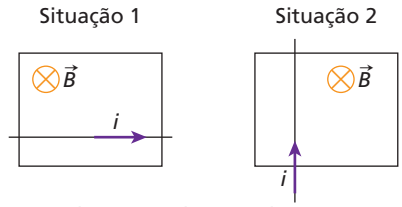
8. Situação 1: Força magnética na vertical para cima. Situação 2: Força magnética na horizontal para a esquerda.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

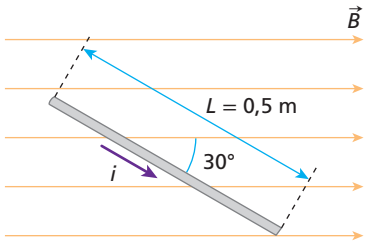
8. Na figura a seguir temos um condutor retilíneo imerso no interior de um campo magnético uniforme e percorrido por corrente elétrica em duas situações distintas. Determine a direção e o sentido da força magnética no fio nas duas situações.



Representação de um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica e imerso no interior de um campo magnético uniforme em duas situações distintas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

9. O esquema a seguir mostra um condutor de comprimento 0,5 m, imerso em um campo magnético de intensidade $1 \cdot 10^{-3}$ T. 9. $2 \cdot 10^{-3}$ N



Representação de um condutor retilíneo imerso no interior de um campo magnético uniforme. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sendo a intensidade da corrente elétrica que o atravessa $i = 8$ A, qual é o módulo da força magnética que atua sobre ele?

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

NA PRÁTICA Construindo um motor elétrico

Os motores elétricos são componentes essenciais em diversos equipamentos do cotidiano, desde aparelhos domésticos, como ventiladores e liquidificadores, até sistemas de transportes, como metrôs e trens. O funcionamento desses motores é explicado pelas interações entre campos elétricos e magnéticos. Nesta atividade prática, investigaremos a construção e o funcionamento de um motor elétrico.

OBJETIVO

Construir um motor elétrico para investigar e analisar como as forças aplicadas, os sentidos das correntes elétricas e os campos magnéticos interagem para gerar o movimento, explicando como e por que o motor gira.

PREPARE-SE!

O giro do motor elétrico resulta das interações entre campos elétricos e magnéticos, gerando variações que se retroalimentam. Já parou para pensar que, ao controlar essas interações, podemos aumentar a eficiência e a sustentabilidade desses motores, possibilitando o uso de energia com um menor impacto ambiental?

MATERIAIS

- 90 cm de fio de cobre esmaltado (fio 24).
- 2 pedaços de arame com comprimento de 20 cm cada um.
- 1 pilha grande de 1,5 V.
- 1 ímã de aproximadamente 2,5 cm × 2,5 cm.
- Lixa ou palha de aço.
- Fita adesiva.
- Tubo de PVC com cerca de 4 cm de diâmetro.
- Suporte para o motor feito de material isolante (pode ser uma tábua de madeira de 15 cm × 15 cm).

PROCEDIMENTO

- Baixe um aplicativo em um dispositivo (*smartphone* ou *tablet*) que tenha a funcionalidade de magnetômetro. Se não for possível, use uma bússola. Com o aplicativo ou a bússola, identifique os polos do ímã em cada face.
- Para construir o motor, o primeiro passo é montar uma bobina usando o fio de cobre. Para isso, enrole-o, efetuando aproximadamente 20 voltas, formando uma circunferência com diâmetro aproximado de 4 cm, deixando cerca de 3 cm de fio em cada extremidade. Use a própria pilha (se o diâmetro dela for próximo de 4 cm) ou um tubo de PVC para enrolar o fio (figura A). As pontas que formarão as extremidades devem ser passadas em torno do enrolamento pela bobina, como mostra a figura B.

Tubo de PVC utilizado para enrolar o fio e montar a bobina.

Bobina formada com a utilização do fio de cobre.

FOTOS: DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA

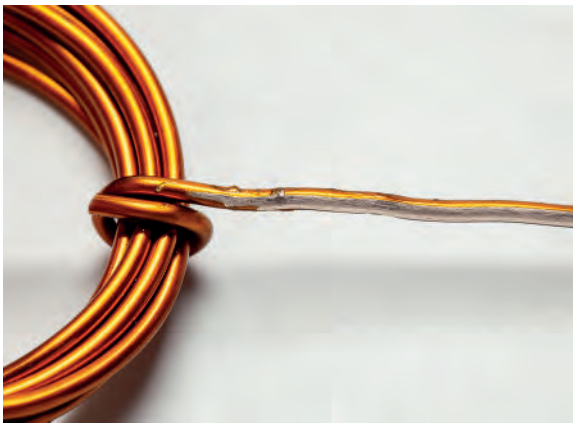
Cuidado ao manusear os materiais cortantes, como as pontas do fio de cobre, para não causar ferimentos.
Descarte as aparas de fita adesiva no lixo comum e as de fios no lixo reciclável.
O restante do material pode ser limpo e guardado para futuro reaproveitamento.

Continua

Continuação

- Utilize a lixa para tirar o esmalte das pontas da bobina. Em uma extremidade, retire todo o esmalte ao redor da ponta do fio. Na outra extremidade, retire apenas o esmalte de um dos lados. O esmalte é uma substância que funciona como isolante elétrico e sua presença na parte externa dos fios de cobre é uma medida de segurança. Ao retirar essa camada de esmalte, permite-se que uma ponta conduza eletricidade em toda a superfície lateral e a outra ponta conduza eletricidade apenas em metade da superfície lateral.

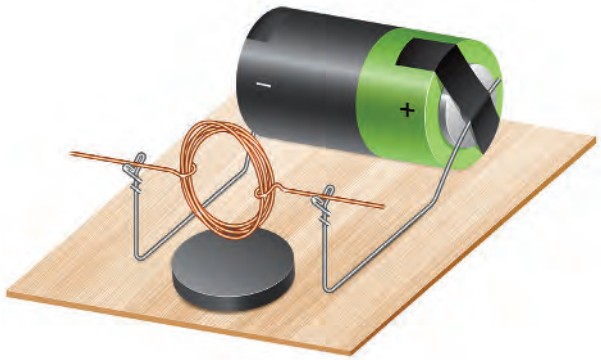
DOTTA2/ARQUIVO DA EDITORA



Extremidade do fio raspada para tirar o esmalte.

- Utilizando o arame, que servirá de suporte para a bobina e para a conexão com a pilha, monte hastes. Ao colocar a bobina sobre o suporte, certifique-se de que este seja suficientemente rígido para suportar o peso da bobina sem ceder.
- Conclua a montagem do circuito com o motor caseiro já sobre seu suporte (que pode ser uma tábua). Usando a fita adesiva, conecte o arame à pilha e coloque o ímã próximo da bobina de maneira que esta, ao girar, passe bem rasante ao ímã.

RENAN ORACIC/ARQUIVO DA EDITORA



Representação do motor caseiro montado.

- Com o motor finalizado, dê um pequeno impulso inicial na bobina para colocar o motor em funcionamento.

1. Qual é a força responsável por fazer o motor girar?
2. Se a pilha fosse conectada com suas polaridades invertidas em relação ao experimento inicial, qual alteração seria percebida no funcionamento do motor?
3. Se uma bússola for aproximada da bobina, sua agulha magnética pode ser defletida?
4. Se alterarmos a posição do ímã, colocando o outro polo com a face para cima, que tipo de alteração será percebida no movimento do motor?
5. Considerando os motores elétricos que usamos no dia a dia, reflita e discuta com os colegas possíveis formas de melhorar a eficiência desses motores para promover um uso mais responsável e sustentável de energia elétrica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Indução eletromagnética

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

O aparelho celular pode ser carregado apenas por aproximação com o fenômeno da indução eletromagnética.

Em sistemas de recarga de celulares e dispositivos eletrônicos sem fio, é possível carregar o aparelho apenas posicionando-o sobre o carregador, sem a necessidade de fios condutores. Esse processo de transferência de energia ocorre por conta de princípios desenvolvidos pelo físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867) há mais de 150 anos.

Na metade do século XIX, Faraday observou que correntes elétricas poderiam ser geradas em espiras de fio por meio da interação com um campo magnético. Por exemplo, ao mover um ímã em direção a uma espira ou afastá-lo, uma corrente elétrica é induzida na espira. Ele percebeu que a variação do campo magnético que atravessa uma espira cria tensão e uma corrente elétrica nela. Esse fenômeno ficou conhecido como **indução eletromagnética**.

A quantidade de campo magnético que atravessa uma espira é medida pelo conceito de **fluxo do campo magnético**, que representa o número de linhas de campo que passam por uma área específica da superfície. Quando as linhas de campo atravessam a espira, dizemos que o fluxo do campo magnético através dessa espira é não nulo.

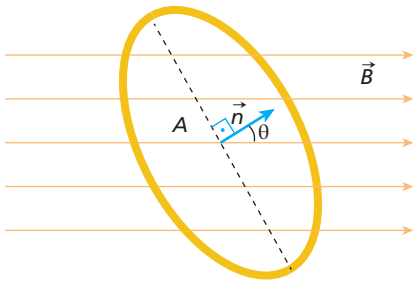
Considerando uma espira de área A com ângulo θ formado pelo vetor normal ($\vec{n}$) à superfície da espira e pelo vetor do campo $\vec{B}$, o fluxo do campo magnético Φ pode ser calculado como:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

No SI, a unidade de medida de fluxo magnético é o **weber (Wb)**, em homenagem ao físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891).

$$1\ \text{Wb} = 1\ \text{T} \cdot \text{m}^2$$

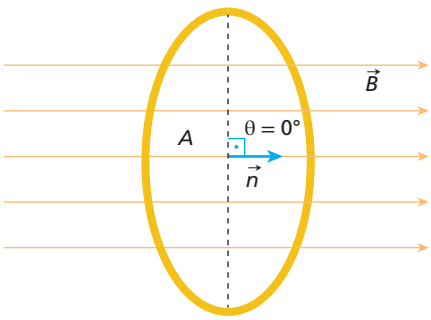
Assim, quando o vetor campo magnético ($\vec{B}$) é paralelo ao vetor normal ($\vec{n}$), com $\theta = 0°$, o fluxo magnético é máximo.



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das linhas de campo atravessando uma espira. O vetor normal ($\vec{n}$), à superfície da espira, forma um ângulo θ com o vetor $\vec{B}$. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando o vetor campo magnético ($\vec{B}$) é perpendicular ao vetor normal ($\vec{n}$), com $\theta = 90°$, o fluxo magnético é nulo.



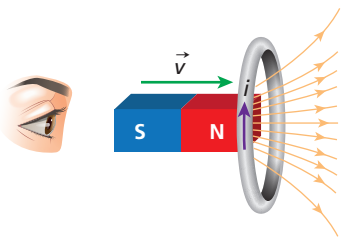
NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática das linhas de campo atravessando uma espira. Quando $\theta = 0$, o fluxo magnético é máximo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Além da variação do fluxo magnético devido à inclinação da espira em relação ao campo magnético, também é possível alterar o fluxo ao mover um ímã em relação à espira. Essa mudança na intensidade do campo magnético altera o fluxo magnético na espira.

Faraday observou que a variação do fluxo magnético dentro de uma espira induz uma corrente elétrica, conhecida como **corrente induzida**. O sentido dessa corrente é determinado pela **lei de Lenz**, formulada pelo físico e químico Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865). De acordo com essa lei, o sentido da corrente induzida origina um fluxo magnético também induzido que se opõe à variação do fluxo magnético que a originou.

Para melhor compreender a lei de Lenz, vamos considerar que o polo norte de um ímã se aproxima de uma espira, gerando uma corrente elétrica induzida. Para que haja oposição à variação do fluxo magnético, uma situação equivalente seria a existência, na face da espira, de um polo norte, que repele o ímã. Pela regra da mão direita, podemos determinar o sentido da corrente induzida como anti-horário em relação ao observador.

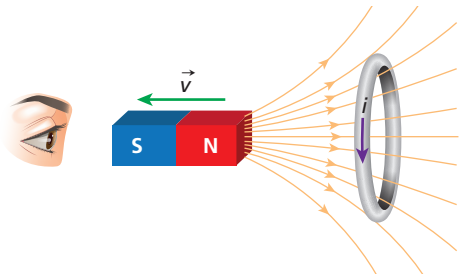


NELSON MATSUDA/ ARQUIVO DA EDITORA

Ímã se aproximando da espira: há aumento do fluxo magnético e a corrente induzida tem sentido anti-horário em relação ao observador. (Imagem sem escala; cores fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De maneira análoga, ao afastarmos o polo norte do ímã, para haver oposição à variação do fluxo, a situação equivalente seria a existência de um polo sul na face da espira para atrair o polo norte do ímã. Pela regra da mão direita, a corrente induzida deve ter sentido horário em relação ao observador.



Ímã se afastando da espira: há diminuição do fluxo magnético e a corrente induzida tem sentido horário em relação ao observador. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Lei de Faraday-Neumann

Nos anos seguintes aos estudos da indução eletromagnética por Faraday, o físico e matemático alemão Franz Ernest Neumann (1798-1895) expressou matematicamente o conceito da indução eletromagnética conhecida hoje como **lei de Faraday-Neumann**, por meio da expressão:

$$|\varepsilon| = \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}$$

Em unidades do SI, V = Wb/s.

Portanto, a lei de Faraday-Neumann relaciona a força eletromotriz induzida (ε) com a taxa de variação do fluxo magnético ($\Delta\Phi$) em um dado intervalo de tempo (Δt).

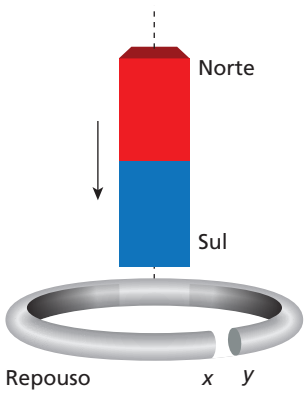
OBJETO DIGITAL
Infográfico clicável: Eletromagnetismo no cotidiano

Uma das principais aplicações da indução eletromagnética é o gerador. Considere uma espira imersa em um campo magnético. Se a espira girar continuamente, uma diferença de potencial será criada. Mantendo a espira em movimento, mantém-se a tensão gerada. Daí a necessidade de água na usina hidroelétrica, por exemplo, para fornecer energia mecânica a fim de manter o movimento e gerar energia elétrica. Nesse caso, a indução eletromagnética é decorrência do movimento relativo entre a espira e o campo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

Uma espira aberta foi submetida a uma variação de fluxo magnético com a aproximação de um ímã, conforme ilustrado na figura a seguir.

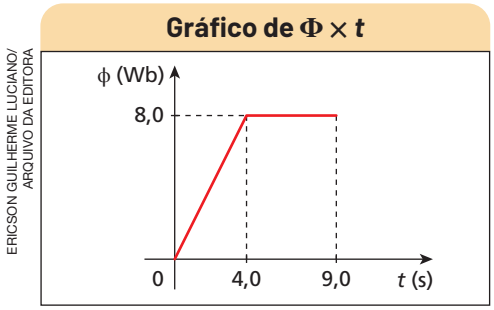


Movimento de um ímã nas proximidades de uma espira aberta. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Durante essa interação, o fluxo magnético na espira foi medido e representado em um gráfico, em função do tempo, mostrado na sequência.

Continua



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

Variação do fluxo do campo magnético (Φ) entre 0 e 9,0 s.

Determine o módulo da força eletromotriz induzida no intervalo de tempo de 0 a 4,0 s e no intervalo entre 4,0 s e 9,0 s.

Analisar o enunciado

Com base nos dados apresentados no gráfico, o enunciado pede a determinação do módulo da força eletromotriz induzida em dois diferentes intervalos de tempo: entre 0 e 4,0 s e entre 4,0 e 9,0 s.

Selecionar as informações relevantes

Para que ocorra o fenômeno da indução eletromagnética, é fundamental a variação do fluxo magnético no decorrer do tempo. O gráfico mostra que, no primeiro intervalo (entre 0 e 4,0 s), o fluxo magnético varia com o tempo e estabiliza-se em um valor constante no segundo intervalo (de 4,0 s até 9,0 s).

Aplicar o conceito estudado

O módulo da força eletromotriz induzida nos terminais da espira pode ser determinado pela lei de Faraday, expressa por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Pelos dados do gráfico, para o intervalo entre 0 e 4,0 s, temos:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\Phi_{4,0\,s} - \Phi_{0\,s}}{4,0 - 0} \Rightarrow \varepsilon = \frac{8,0 - 0}{4,0 - 0} \therefore \varepsilon = 2,0\ V$$

No intervalo entre 4,0 s e 9,0 s, não há variação do campo magnético, ou seja, $\Delta \Phi = 0$. Logo, a força eletromotriz induzida é $\varepsilon = 0$.

Verificar a solução

Por meio dos cálculos, verificou-se que há força eletromotriz induzida apenas no primeiro intervalo, entre 0 e 4,0 s, já que, a partir de 4,0 s até o final do intervalo de tempo considerado, $t = 9,0$ s, não ocorre variação do fluxo do campo magnético. Essa informação pode ser verificada pela análise do gráfico, já que, no primeiro intervalo, a variação do fluxo do campo magnético é dada por uma reta crescente, enquanto no segundo intervalo o valor do fluxo do campo magnético é constante.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

10. O que é o fenômeno da indução eletromagnética? Cite algumas aplicações tecnológicas desse fenômeno que você utiliza no dia a dia.

11. O que estabelece a lei de Faraday da indução eletromagnética?

10. A indução eletromagnética é o fenômeno em que um campo magnético variável induz a criação de uma tensão elétrica e uma corrente elétrica em um circuito fechado próximo. São exemplos de aplicações: geradores de energia elétrica, transformadores, motores elétricos, dispositivos de comunicação sem fio, leitores magnéticos etc.

11. A lei de Faraday estabelece que a tensão elétrica induzida em um circuito é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético que atravessa o circuito no decorrer do tempo.

Fique por dentro

Lei de Faraday-Neumann

DUBSON, M. *et al*. Lei de Faraday. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law. Acesso em: 12 ago. 2024.

Nesse *site,* você pode simular o que acontece quando movemos um ímã através de uma bobina com diferentes velocidades para investigar a lei de Faraday-Neumann.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EM FOCO Robôs e inteligência artificial na ficção científica

Ex_Machina (2014) é um filme de ficção científica, escrito e dirigido pelo cineasta britânico Alex Garland, que mergulha no mundo da inteligência artificial (IA). No filme, Caleb Smith, um jovem programador que trabalha para um mecanismo de pesquisa fictício chamado BlueBook, é convidado para visitar o recluso CEO da empresa, Nathan Bateman, que vive isolado em uma casa nas montanhas. Nathan revela a Caleb que está desenvolvendo um novo projeto, um robô humanoide com inteligência artificial chamado Ava, e convidou o programador para aplicar o teste de Turing, que avalia a capacidade de uma máquina de exibir comportamento inteligente indistinguível de um ser humano.

Nathan explica que desenvolveu a inteligência artificial de Ava utilizando dados pessoais coletados dos celulares de pessoas do mundo todo, por meio dos microfones e das câmeras dos dispositivos, redirecionando-os para os servidores da sua empresa. Isso proporcionou uma fonte ilimitada de dados para Ava.

Durante as conversas entre Caleb e Ava, sempre separados por uma parede de vidro, ocorrem problemas de interrupção no fornecimento de energia elétrica no laboratório. Isso impede que Nathan, que monitora constantemente o teste realizado por Caleb, tenha acesso às interações entre o programador e Ava. Posteriormente, Ava revela que ela é quem causa a interrupção no fornecimento de energia elétrica no laboratório, explicando que utiliza chapas de indução eletromagnética para carregar suas baterias e que, ao reverter o fluxo de energia nessas chapas, pode provocar uma sobrecarga no sistema elétrico, resultando em apagões, ou seja, na interrupção temporária no fornecimento de energia elétrica. Para tentar manipular os sentimentos de Caleb para que ele se sinta compelido a ajudá-la a fugir, Ava se mostra vulnerável.

REPRODUÇÃO/UNIVERSAL PICTURES

Personagens Caleb Smith (à esquerda), Nathan Bateman (à direita) e Ava em cartaz do filme *Ex_Machina*.

1. Discuta com seus colegas como a coleta de dados para o desenvolvimento de tecnologias de IA é retratada no filme *Ex_Machina*. Pesquisem as regulamentações e práticas reais que existem para proteger a privacidade dos indivíduos, como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), e as comparem com a prática do filme.
2. Como o tratamento que o filme dá a essas questões pode influenciar a percepção pública sobre Ciência e tecnologia?
3. Considerando a tecnologia utilizada por Ava para carregar suas baterias, discuta a viabilidade e as limitações da tecnologia descrita no filme comparando-a com a tecnologia real de carregadores de indução eletromagnética para celulares. Avalie como a abordagem do filme pode influenciar o entendimento público sobre os riscos associados aos carregadores por indução eletromagnética.
4. Descreva como o filme representa um robô com inteligência artificial. Em sua opinião, como essas representações influenciam a compreensão do público sobre as capacidades reais das tecnologias contemporâneas? Você considera que discutir temáticas relativas aos usos de IA na ficção científica pode ajudar a população em geral a identificar os limites e potencialidades da IA na ficção e na realidade?

1. No filme, a coleta de dados em massa e a invasão de privacidade é retratada de maneira alarmante, mostrando a espionagem em larga escala sem restrições. Na realidade, regulamentações como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil visam proteger a privacidade dos indivíduos, estabelecendo regras claras sobre coleta, uso e armazenamento de dados pessoais. A LGPD exige consentimento explícito dos usuários e garante direitos como acesso, correção e exclusão de dados, contrastando com a abordagem muitas vezes invasiva e desregulada mostrada nos filmes.

2. A maneira dramática como o filme retrata a coleta de dados pode aumentar a preocupação pública com a privacidade e a ética na tecnologia, e pode influenciar a percepção do uso e da proteção de dados na realidade e da aplicação da Ciência e da tecnologia.

3. A tecnologia mostrada no filme, na qual Ava usa chapas de indução para causar apagões, é fictícia e exagerada. Na realidade, carregadores de indução eletromagnética para celulares são projetados para transferir energia de forma segura, sem causar problemas elétricos. O filme pode gerar preocupações indevidas sobre os riscos dos carregadores de indução, distorcendo o entendimento público ao sugerir que eles podem causar sobrecargas e apagões, o que não é verdade na prática.

4. No filme, Ava é representada como um robô humanoide com inteligência artificial avançada, capaz de falar de forma fluida e humanizada, simular emoções e manipular pessoas. Essas representações exageram as capacidades reais da tecnologia, levando o público a acreditar que a IA atual possui consciência e habilidades semelhantes às mostradas no filme. No entanto, as IAs modernas ainda não têm consciência nem compreensão verdadeiras, sendo capazes apenas de seguir algoritmos e padrões programados. Filmes como esse podem criar expectativas irreais e medos desnecessários sobre o que a tecnologia pode realmente fazer.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Para além de conhecimentos técnicos, o ensino da Robótica é uma oportunidade para o desenvolvimento de habilidades e competências essenciais também para outras profissões no mercado de trabalho. As etapas trabalhadas em sala de aula (resolução de problema, definição e construção de um projeto e a apresentação da solução encontrada) possibilitam desenvolver, por exemplo,

Registre em seu caderno

raciocínio lógico, pensamento crítico, criatividade e comunicação. O ensino de Robótica vai além, preparando também os jovens para atuar na sociedade,

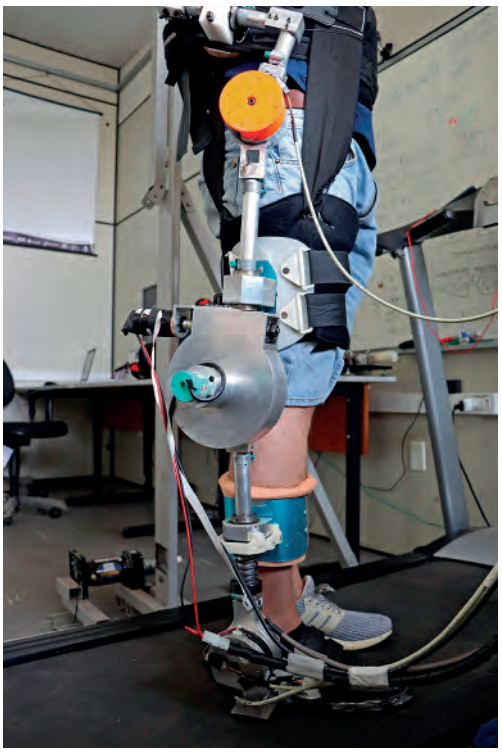
Robótica: carreira para os jovens, soluções para a sociedade

ODS 4

ODS 5

Projetos em desenvolvimento em centros de pesquisas universitários e em uma *startup* paulista têm potencial de atender a uma demanda latente no país por aparelhos robóticos direcionados à mobilidade de pessoas com restrições motoras. Pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) anunciaram [...] a conclusão de um protótipo de exoesqueleto robótico capaz de auxiliar o movimento dos membros inferiores de vítimas de doenças como acidente vascular cerebral (AVC), mal de Parkinson e lesão da medula espinhal. O aparelho utiliza algoritmos para identificar a dificuldade específica do paciente em cada articulação da perna, como tornozelo, joelho e quadril, e complementa automaticamente o esforço necessário para a conclusão do movimento. [...]

[...] O [protótipo] incorpora técnicas oriundas da robótica que permitem ao usuário executar movimentos com elevado grau de autonomia. Além de estabelecer a direção para a qual pretende se locomover, ele tem total controle sobre ritmo, paradas e mudança de rumo. O exoesqueleto executa automaticamente o movimento. Para isso, é dotado de uma câmera que vê os obstáculos e utiliza técnicas de inteligência artificial, otimização e planejamento de movimentos para adaptar o passo da pessoa para a forma mais adequada a superar obstáculos na sua frente e alcançar o objetivo. [...]



HENRIQUE FONTES/COMUNICAÇÃO EESC-USP

Protótipo de exoesqueleto desenvolvido pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) para a recuperação do movimento dos membros inferiores.

Fonte: ZAPAROLLI, D. Robôs que ajudam a andar. **Agência Fapesp**, São Paulo, mar. 2021. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/robos-que-ajudam-a-andar/. Acesso em: 21 out. 2024.

desenvolvendo habilidades de relacionamento, uma das competências socioemocionais presentes na BNCC. Ele pode ser utilizado como ferramenta colaborativa no processo de ensino e aprendizagem de diferentes componentes curriculares, entre eles a Física.

Desde 2021, equipes de diferentes universidades brasileiras trabalham no desenvolvimento de exoesqueletos que, no futuro, poderão ser usados para auxiliar na movimentação de pacientes paraplégicos ou em processo de reabilitação, dando-lhes maior independência na realização das atividades diárias e proporcionando melhor qualidade de vida para essas pessoas.

O desenvolvimento de tecnologias como essa é possível graças aos conhecimentos em Robótica, ciência que estuda a criação, a construção e a implementação de robôs por meio da aplicação de conceitos de diferentes áreas, como Ciência da Computação, Matemática e Física. Exoesqueletos como o protótipo apresentado utilizam circuitos elétricos, motores elétricos, sensores de campo magnético e aplicam princípios de indução eletromagnética para reproduzir movimentos do corpo humano.

Cada vez mais presente em nosso dia a dia, a Robótica é aplicada na produção industrial, otimizando a produção nas fábricas, em tarefas do cotidiano, como no auxílio de trabalhos domésticos, e na Medicina, não só no desenvolvimento de novos equipamentos, mas também na realização de teleconsultas e em intervenções cirúrgicas.

As carreiras na área de Engenharia, seja ela mecânica, eletrônica, elétrica, mecatrônica, de computação, industrial ou de telecomunicações, são as que se relacionam com o desenvolvimento de robôs e na programação de sistemas inteligentes. Um dado que chama a atenção é o pequeno número de jovens que escolhem carreiras nessa área, juntamente com as áreas de Ciência, Tecnologia

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

e Matemática. As carreiras STEM (do inglês, *Science*, *Technology*, *Engineering and Mathematics*; em português, Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) contam, ainda, com a sub-representação das mulheres, que são apenas 37,3% dos profissionais formados em Engenharia.

As carreiras STEM são fundamentais para o desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, com impacto significativo na sociedade. Um grande passo para estimular mais jovens a escolherem essa área, formando uma nova geração de profissionais nas carreiras STEM, é promover o ensino de Robótica nas escolas.

Na Robótica educacional os estudantes desenvolvem atividades de montagem de robôs e sistemas automatizados para realizar tarefas simples. Para isso, normalmente, seguem algumas etapas, que envolvem a resolução de um problema, a definição e a construção de um projeto e a apresentação da solução encontrada. Desse modo, o ensino de Robótica tem despertado o interesse dos jovens em Ciências e Matemática, melhorando o desempenho escolar e estimulando aptidões para as carreiras STEM.

SOPA IMAGES LIMITED/ALAMY/FOTOARENA

Estudantes em um torneio de robótica em Montevidéu, Uruguai (2019). Torneios de robótica são cada vez mais comuns, inclusive no Brasil, e contribuem para despertar nos estudantes o interesse pelas carreiras STEM.

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Em grupo com dois colegas, com base na tecnologia descrita no texto, discutam a importância para a sociedade do desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico.

2. Leia o texto a seguir.

> [...] essa "escolha" [de meninas e mulheres não seguirem seus estudos ou carreiras em STEM] é um resultado do processo de socialização e de estereótipos que são explícita e implicitamente transmitidos às meninas desde muito cedo. Com frequência, as meninas são criadas acreditando que STEM consistem em assuntos "masculinos", e que a habilidade feminina nesse campo é intrinsecamente inferior à masculina. Isso pode diminuir a confiança das meninas, bem como o seu interesse e a sua vontade de se envolver com disciplinas de STEM.
>
> **Fonte:** Decifrar o código: educação de meninas e mulheres em ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). **Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco)**. Brasília: Unesco Brasil, 2018. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000264691. Acesso em: 25 set. 2024.

Cite intervenções nos âmbitos individual, familiar, escolar e social que você considera que poderiam ser feitas para ajudar a aumentar a participação de meninas nas áreas STEM.

3. Você conhece projetos que incentivam a participação de meninas na Robótica? Se não conhece, pesquise um projeto com esse objetivo.

4. Diante das demandas do mundo atual para o mercado de trabalho e para a sociedade, você considera importante o ensino de robótica nas escolas? Explique.

1. O exoesqueleto robótico descrito no texto visa auxiliar no movimento dos membros inferiores de vítimas de doenças como acidente vascular cerebral (AVC), mal de Parkinson e lesão da medula espinhal. Com base nessa tecnologia e na discussão proposta, espera-se que os estudantes percebam a importância do conhecimento científico e tecnológico para promover a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar da sociedade.

2. Pensar em como a escola pode colaborar para aumentar a participação de meninas nas áreas de estudo STEM é uma oportunidade para os estudantes de perceber que a escola deve ser um espaço colaborativo, que conta com a participação de todos para a melhoria da educação. Ao pensar em intervenções que as escolas podem fazer em diferentes âmbitos, espera-se que os estudantes concluam que, para aumentar a participação feminina em STEM, são necessários esforços integrados.

3. Resposta pessoal. A atividade busca a participação dos estudantes na pesquisa de projetos que incentivam a participação de meninas na robótica.

4. Resposta pessoal. Com base no que foi explanado no texto, espera-se que os estudantes percebam que o ensino de robótica possibilita estimular nas jovens aptidões para as carreiras STEM, oportunizando a entrada delas nessas carreiras. Tratando-se das demandas para a sociedade, espera-se que os estudantes compreendam a relação do ensino de robótica com as carreiras STEM e a importâncias dessas carreiras para o desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, com impacto significativo na sociedade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

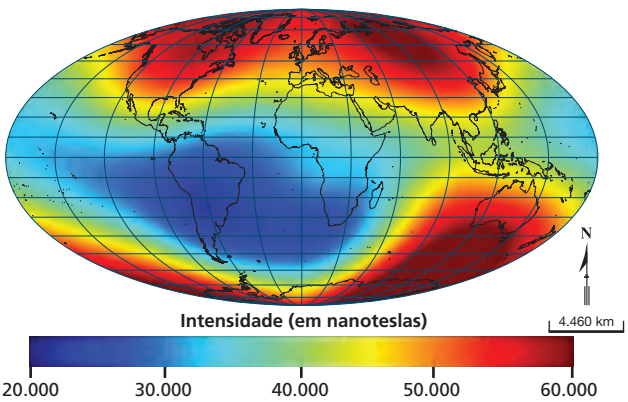
ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. (Fuvest-SP) Considere os textos a seguir sobre o campo magnético terrestre, essencial para a manutenção da vida no planeta:

> [...] O campo magnético é o resultado do movimento do ferro líquido que envolve o núcleo interno do planeta, formado de ferro sólido. Ao girar a uma velocidade maior que aquela da superfície, o ferro líquido produz um campo magnético com dois polos magnéticos opostos, próximos aos polos Norte e Sul geográficos. [...] (1)
>
> [...] O campo magnético do planeta, porém, não é estável e vem enfraquecendo continuamente desde pelo menos 1832, quando o físico e matemático alemão Carl Friedrich Gauss aferiu pela primeira vez sua intensidade. De lá para cá, medições mais frequentes e precisas [...] confirmam que a intensidade diminui à taxa de 17 nanoteslas (nT) por ano – o campo tem 66 mil nT nos polos e 22 mil nT sobre uma faixa do hemisfério Sul que vai da África à América do Sul. [...] (2)

Fontes: (1) STAM, G. Uma falha no campo magnético da Terra passeia sobre o Brasil. **Revista Pesquisa Fapesp**, São Paulo, 18 maio 2021. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/uma-falha-no-campo-magnetico-da-terra-passeia-sobre-o-brasil/. Acesso em: 21 out. 2024. (2) ZORZETTO, R. O norte da questão. **Revista Pesquisa Fapesp**, São Paulo, jun. 2018. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/o-norte-da-questao/. Acesso em: 21 out. 2024.



ANDERSON DE ANDRADE PIMENTEL/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em EUROPEAN SPACE AGENCY. Applications. **Swarm reveals Earth's changing magnetism**. Paris: ESA, 2014. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Swarm/Swarm_reveals_Earth_s_changing_magnetism. Acesso em: 14 out. 2024.

Com base nos textos e na figura apresentados e nos seus conhecimentos, é correto afirmar que: 1. Alternativa **d**.

a. A variação da intensidade do campo magnético terrestre ao longo da linha do Equador é menor do que 10^{-6} T.

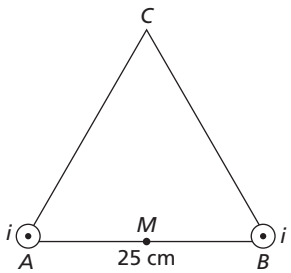
b. O campo magnético terrestre é constante em módulo ao longo do meridiano de Greenwich.

c. O campo magnético terrestre é uniforme e esférico, tal como o campo gerado por um dipolo magnético.

d. Embora atualmente o campo magnético terrestre tenha intensidade maior nas regiões dos polos, esta é consideravelmente menor na região do Brasil e adjacências.

e. A geração do campo magnético é naturalmente explicada por uma distribuição estática de cargas no núcleo interno do planeta.

2. (Mackenzie-SP) Dois fios longos e retilíneos são colocados fixamente no vácuo e paralelos entre si em uma direção perpendicular ao plano da folha. Ambos os fios são percorridos por correntes elétricas constantes, idênticas, e saindo do plano da folha, representadas pelo símbolo ⊙. Os fios são percorridos por correntes elétricas de intensidade 2 A e estão dispostos nos vértices *A* e *B* do triângulo equilátero segundo a figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Sendo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T · m)/A, marque a alternativa que representa o módulo do vetor indução magnética resultante no ponto médio *M* do segmento $\overline{AB}$ do triângulo equilátero. 2. Alternativa **e**.

a. $1{,}6 \cdot 10^{-6}$ T

b. $2{,}4 \cdot 10^{-4}$ T

c. $0{,}8 \cdot 10^{-4}$ T

d. $3{,}2 \cdot 10^{-6}$ T

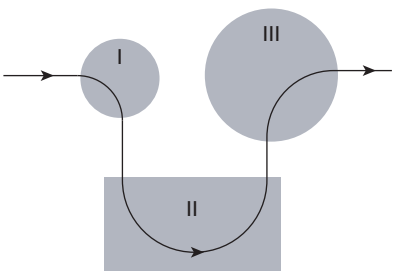
e. Zero

3. (PUC-GO) Um solenoide é um conjunto de circuitos fechados próximos uns dos outros, que fornece um campo magnético uniforme e pode ser obtido enrolando-se um fio sob a forma de bobina. Se você deseja criar um campo magnético uniforme com 1,0 T e possui um solenoide de 800 voltas por centímetro, que intensidade de corrente elétrica deve percorrer esse dispositivo? 3. Alternativa **b**.

Dados: considere $\pi = 3$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T · m)/A

a. 8,6 A **b.** 10,4 A **c.** 13,2 A **d.** 5,2 A

4. (UFRGS-RS) Na figura a seguir, está representada a trajetória de uma partícula de carga negativa que atravessa três regiões onde existem campos magnéticos uniformes e perpendiculares à trajetória da partícula. 4. Alternativa **a**.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Continua

Nas regiões I e III, as trajetórias são quartos de circunferências e, na região II, a trajetória é uma semicircunferência. A partir da trajetória representada, pode-se afirmar corretamente que os campos magnéticos nas regiões I, II e III, em relação à página, estão, respectivamente,

a. entrando, saindo e entrando.

b. entrando, saindo e saindo.

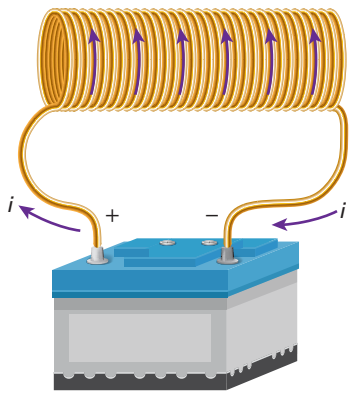
c. saindo, saindo e entrando.

d. entrando, entrando e entrando.

e. saindo, entrando e saindo.

5. Considere um solenoide longo e ideal, composto de $1{,}0 \cdot 10^4$ espiras por metro e percorrido por uma corrente contínua de intensidade 4 A. Adote para a permeabilidade magnética do meio $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (T · m)/A e o valor de $\pi = 3$. 5. $4{,}8 \cdot 10^{-2}$ T

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Solenoide ideal ligado a uma bateria. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Determine a polaridade do solenoide e o módulo do campo magnético criado em seu interior.

6. Existem lanternas que não necessitam do uso de pilhas; elas são constituídas por bobinas e ímãs que podem ser movimentados. Ao balançar a lanterna, o ímã pode passar por dentro da bobina.

Explique o funcionamento desse equipamento utilizando os conhecimentos desenvolvidos neste capítulo.

7. (UEM-PR) Uma espira quadrada de 10,0 cm de lado e resistência de 1,0 Ω se movimenta em linha reta no vácuo a uma velocidade constante de 50,0 cm/s. A espira atravessa uma região do espaço onde existe um campo magnético constante e uniforme de 0,5 T, que está orientado perpendicularmente à área da espira. Com base nessas informações, analise as alternativas e indique o que for correto. 7. 01 + 04 + 16 = 21

(01) O fluxo magnético que flui na espira, quando ela está completamente imersa no campo magnético, é de 0,005 Wb.

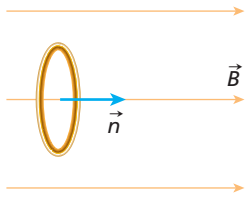
(02) A força eletromotriz induzida na espira, quando ela entra na região de campo magnético, é de 5,0 V.

(04) Quando a espira sai da região de campo magnético, uma corrente elétrica é induzida na espira no sentido de gerar uma força magnética que se oponha a tal movimento.

(08) A intensidade da corrente elétrica induzida na espira, quando ela sai da região de campo magnético, é de 25,0 A.

(16) A força eletromotriz e a intensidade da corrente elétrica induzidas na espira, quando ela está totalmente imersa no campo magnético, são nulas.

8. Uma espira circular com 0,12 cm^2 de área e formada por um condutor de resistência elétrica de 4,0 Ω é colocada perpendicularmente às linhas de um campo magnético uniforme. A figura ilustra a situação proposta.



Espira circular sendo atravessada perpendicularmente por linhas de campo magnético uniforme. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A intensidade desse campo magnético varia de forma linear de 1,0 T para 5,0 T em um intervalo de tempo de 2,0 s. Determine: 8. a. $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ Wb e $6{,}0 \cdot 10^{-5}$ Wb
8. b. $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ V

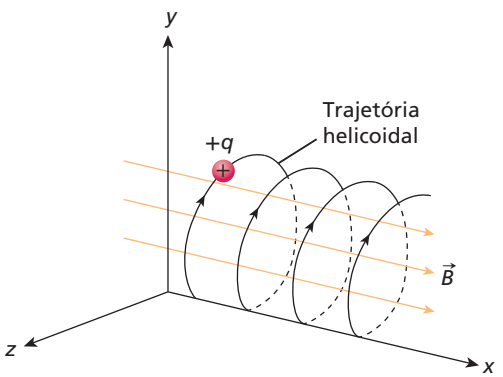
a. o valor do fluxo magnético inicial e final;

b. o módulo da força eletromotriz induzida;

c. a intensidade da corrente elétrica induzida média para a situação proposta. 8. c. $6{,}0 \cdot 10^{-6}$ A

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

9. (Enem) O espectrômetro de massa de tempo de voo é um dispositivo utilizado para medir a massa de íons. Nele, um íon de carga elétrica q é lançado em uma região de campo magnético constante B, descrevendo uma trajetória helicoidal, conforme a figura. Essa trajetória é formada pela composição de um movimento circular uniforme no plano yz e uma translação ao longo do eixo x. A vantagem desse dispositivo é que a velocidade angular do movimento helicoidal do íon é independente de sua velocidade inicial. O dispositivo então mede o tempo t de voo para N voltas do íon. Logo, com base nos valores q, B, N e t, pode-se determinar a massa do íon.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

A massa do íon medida por esse dispositivo será:
9. Alternativa **a**.

a. $\frac{qBt}{2\pi N}$ **b.** $\frac{qBt}{\pi N}$ **c.** $\frac{2qBt}{\pi N}$ **d.** $\frac{qBt}{N}$ **e.** $\frac{2qBt}{N}$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. Espera-se que os estudantes respondam que as lanternas que não utilizam pilhas funcionam com base na indução eletromagnética. Quando essas lanternas são balançadas, o ímã se move através da bobina do fio, e o movimento gera uma variação do fluxo magnético, que induz uma corrente elétrica, de acordo com a Lei de Faraday.

Capítulo 24

Elementos de Física Quântica

DAVID SPATES/SHUTTERSTOCK

Acelerador de partículas Sirius, em Campinas, SP (2022). Nesse local, são realizados experimentos utilizando feixes de elétrons de alta energia.

Aceleradores de partículas como o Sirius são ferramentas importantes para a investigação de diferentes materiais, compostos orgânicos e inorgânicos, e podem ser utilizados no desenvolvimento de novos medicamentos, no desenvolvimento sustentável de biocombustíveis, bioquímicos e biomateriais.

Processadores de computadores, equipamentos de ressonância magnética, relógios atômicos (necessários para o funcionamento de sistemas de navegação por satélite, como o GPS), iluminação com LED e aceleradores de partículas são apenas alguns dos dispositivos tecnológicos atuais cujo funcionamento pode ser explicado por meio da Física Quântica.

Neste capítulo, vamos estudar alguns dos principais conceitos da Física Quântica, como corpo negro, quantização de energia, efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza e modelo atômico de Bohr.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Introdução à Física Quântica

A **Física Quântica** é uma área da Física que começou a se desenvolver no final do século XIX e início do século XX, quando várias tentativas de aplicar as leis da Física Clássica em nível atômico se mostraram infrutíferas. Fenômenos como a emissão de radiação pelos corpos aquecidos e o efeito fotoelétrico, por exemplo, não podiam ser elucidados pelas teorias existentes até então. Entre 1900 e 1930 foi desenvolvida a área denominada Física Quântica, que se mostrou apta a explicar o comportamento das moléculas, dos átomos e dos núcleos atômicos em várias situações. A área recebeu o nome de Física Quântica por abarcar grandezas que são quantizáveis, isto é, são múltiplos inteiros de um valor mínimo: o *quantum*.

A catástrofe do ultravioleta

Zero absoluto: a mais baixa temperatura que pode ser obtida, teoricamente; corresponde a 0 K (zero Kelvin), que equivale a –273,15 °C ou –459,67 °F.

Qualquer objeto que esteja a uma temperatura acima do **zero absoluto** emite radiação eletromagnética. Essa radiação está relacionada com sua temperatura, por isso é conhecida como radiação térmica. Em temperaturas abaixo de 600 °C, a maior parte da radiação emitida é do tipo infravermelho, portanto invisível ao olho humano. Mas o corpo humano ou uma caneca com bebida quente, por exemplo, emitem radiação infravermelha suficiente para que possamos percebê-la na forma de calor. A figura a seguir mostra uma imagem obtida por meio de uma câmera de infravermelho.

SARINYAPINNGAM/GETTY IMAGES

Imagem obtida por meio de uma câmera de infravermelho. A barra vertical lateral representa a escala de temperatura relacionada às cores apresentadas na imagem. (Cores-fantasia.)

Câmeras de infravermelho, também chamadas câmeras térmicas ou termográficas, detectam a intensidade da radiação infravermelha emitida por um corpo, que pode ser relacionada com sua temperatura, e convertem essa informação em uma imagem, em que as diferentes cores estão relacionadas a uma escala de temperatura.

Cuidado ao manusear objetos e líquidos quentes para evitar ferimentos.

Para verificar esse fenômeno, coloque em uma caneca água quente o bastante para esquentar sua superfície, tomando cuidado para não se queimar. Mantendo as mãos próximas à caneca, mas sem encostar nela, você perceberá que elas esquentam levemente. Outro teste pode ser feito, dessa vez com canecas de diferentes cores. Canecas mais escuras tendem a absorver e emitir mais radiação do que as mais claras.

FOTOS: FERNANDO FAVORETTO/ ARQUIVO DA EDITORA

(A) Experimento de troca de calor entre as mãos de uma pessoa e uma caneca de superfície branca com água aquecida em seu interior. **(B)** No experimento com a caneca de superfície preta, com a água nas mesmas condições de temperatura, a radiação térmica percebida pelas mãos é maior.

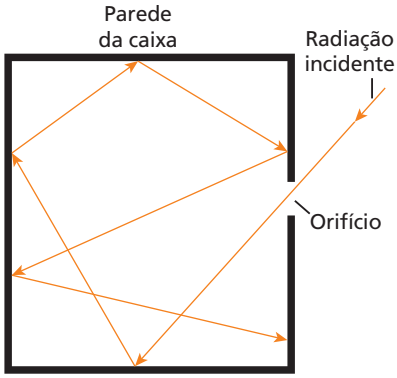
Este é um aspecto interessante da radiação térmica: bons absorvedores de radiação também são bons emissores. Por isso radiadores de carro e de geladeira, por exemplo, são pintados de preto, assim a dissipação de energia por irradiação é maior.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em uma situação ideal, um corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele, não sendo capaz de refleti-la, é chamado de **corpo negro**. Para melhor compreender esse conceito, vamos considerar uma caixa com um pequeno orifício, por onde a radiação entra.

Essa radiação é refletida várias vezes no interior da caixa, sendo totalmente absorvida por suas paredes. A caixa, com seu pequeno orifício, se comporta, portanto, como um corpo negro, absorvendo toda a radiação. Se essa caixa for aquecida, suas paredes passarão a emitir radiação térmica que eventualmente sairá pelo orifício; dessa forma, sua temperatura pode ser determinada pela emissão de radiação.

O físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) foi o primeiro a mencionar corpos negros. Ele observou que a radiação só dependia da temperatura, e não do material do corpo emissor. Em outras palavras, o cientista observou que, aumentando a temperatura do corpo, a intensidade da radiação aumentava, independentemente do comprimento de onda.

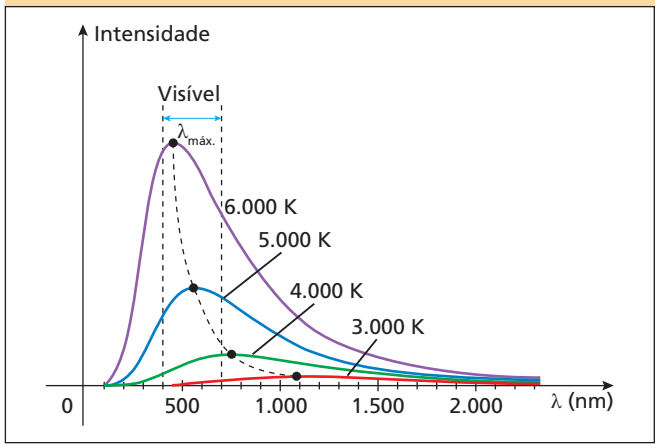


NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática de um modelo de corpo negro. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A partir de dados experimentais, é possível relacionar a intensidade da radiação emitida por um corpo negro com o comprimento de onda λ, a determinada temperatura. Isso nos permite construir o gráfico a seguir, chamado **espectro de emissão de corpo negro**.

Espectro de emissão de corpo negro



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em WILSON, J. D.; BUFFA, A. J.; LOU, B. **College Physics**. 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.

Intensidade da radiação em função do comprimento de onda a diferentes temperaturas.

Note que a intensidade da radiação adquire um certo valor máximo para um dado comprimento de onda. O gráfico mostra que, repetindo o experimento para diferentes temperaturas, o pico de cada curva se desloca para a esquerda (curva tracejada); quanto maior for a temperatura, menor será o comprimento de onda do pico de emissão.

Portanto, o comprimento de onda da radiação emitida com intensidade máxima ($\lambda_{máx.}$) é inversamente proporcional à temperatura absoluta T (escala Kelvin) do corpo emissor. Esse fenômeno foi observado pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864-1928) e é denominado **lei de deslocamento de Wien**, sendo expresso pela equação:

$$\lambda_{máx.} = \frac{2{,}89 \cdot 10^{-3}\ \text{m} \cdot \text{K}}{T\ (\text{K})}$$

O valor constante $2{,}89 \cdot 10^{-3}$ m · K é chamado de **constante de Wien**.

Em 1900, o matemático e físico inglês John William Strutt (1842-1919), mais conhecido como Lord Rayleigh, e o também matemático e físico inglês James Hopwood Jeans (1877-1946) derivaram uma equação para explicar os dados experimentais da intensidade de radiação emitida pelo corpo negro, que ficou conhecida como lei de Rayleigh-Jeans.

No entanto, esses resultados teóricos foram obtidos usando as teorias do Eletromagnetismo e da Termodinâmica, áreas da Física Clássica, e não eram compatíveis com os resultados experimentais. Essa discordância ficou conhecida como **catástrofe do ultravioleta**, pois a lei de Rayleigh-Jeans concordava com os dados experimentais referentes às frequências menores, mas não às maiores, na região do ultravioleta.

Fique por dentro

Espectro de corpo negro

PURKAYASTHA, A. *et al*. Espectro de corpo negro. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum/about. Acesso em: 21 ago. 2024.

Com esse simulador, você pode verificar como a intensidade da radiação emitida por um corpo negro se relaciona com o comprimento de onda para diferentes temperaturas. Alterando o valor da temperatura, é possível observar o deslocamento do pico da curva; note que, ao aumentar a temperatura, o pico se desloca para a esquerda (comprimentos de onda menores).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O problema foi resolvido por meio de uma nova expressão proposta pelo físico alemão Max Planck (1858-1947). No entanto, Planck precisou considerar que, na superfície do corpo negro, as cargas elétricas oscilantes emitiam radiação em porções de energia bem definidas e não de forma contínua, como previa a teoria clássica. Dentre outras discrepâncias em relação à teoria clássica, essa foi uma das ideias que deu início ao desenvolvimento da Física Quântica.

Hipótese quântica de Planck

As porções ou pacotes de energia descritos por Max Planck foram chamados de *quanta* (no singular, *quantum*), palavra derivada do latim que significa "quantidade". Essa referência a uma porção de energia que é quantizada ou quantificada originou o termo Física Quântica. Assim, a energia E da radiação emitida pelos átomos de corpos aquecidos assumia apenas valores inteiros proporcionais à frequência f de vibração desses átomos. Para cada frequência, a energia mínima da radiação emitida seria dada pela seguinte expressão, posteriormente conhecida como **equação de Planck**:

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Em que n é um número inteiro positivo e h é a chamada **constante de Planck**, que vale $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s. Dado o valor diminuto dessa constante, os efeitos quânticos somente se tornam mensuráveis quando os sistemas físicos envolvidos têm dimensões moleculares, atômicas ou subatômicas.

Quando partículas emitem ou absorvem os *quanta* de radiação, elas transitam de um nível de energia para outro. Se a transição ocorrer entre níveis de energia adjacentes, por exemplo, de $n = 1$ para $n = 2$, a quantidade de energia da radiação emitida ou absorvida (ΔE) é dada pela diferença entre as energias desses níveis, portanto:

$$\Delta E = h \cdot f$$

Assim, as partículas apenas absorvem ou emitem radiação quando mudam seu nível energético. Enquanto permanecem no mesmo nível, nenhuma radiação é absorvida ou emitida.

De acordo com o modelo de Planck, podemos dizer que a energia das radiações eletromagnéticas é quantizada, associada a partículas que denominamos fótons.

Por esses estudos, Planck recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1918.

Exemplo

Considere que uma emissora de rádio AM opera na frequência de 1.200 kHz e potência de 50 kW. Aplicando o conceito de quantização de energia de Planck nessa situação do dia a dia, determine a energia de cada um desses fótons emitidos pela antena. Aproximadamente quantos fótons são emitidos pela antena a cada segundo? Considere a constante de Planck: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s.

Pela equação de Planck, lembrando que 1 Hz = 1 s^{-1}, a energia de um fóton de frequência 1.200 kHz, ou seja, $1{,}2 \cdot 10^6$ Hz, é:

$$E_{fóton} = h \cdot f \Rightarrow E_{fóton} = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} \cdot \frac{1{,}2 \cdot 10^6}{\text{s}} \therefore E_{fóton} \simeq 8 \cdot 10^{-28}\ \text{J}$$

Como a potência é de 50.000 W = 50.000 J/s, sabemos que são fornecidos 50.000 J por segundo pela antena. Considerando o valor da energia de 1 fóton emitido pela antena, calculado anteriormente, o número de fótons (N) emitidos a cada segundo é:

$$1 \text{ fóton} \quad \text{——} \quad 8 \cdot 10^{-28}\ \text{J}$$

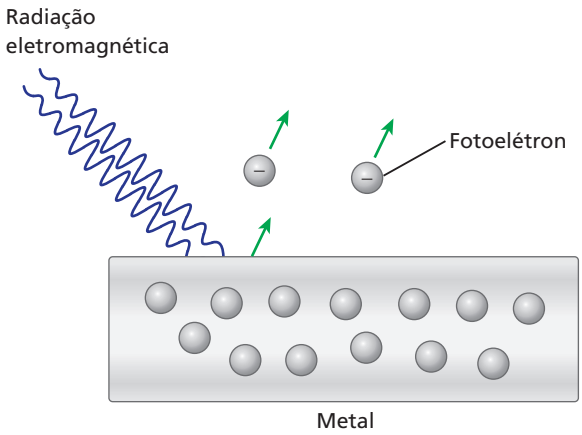
$$N \text{ fótons} \quad \text{——} \quad 5 \cdot 10^{4}\ \text{J}$$

$$N = \frac{5 \cdot 10^4\ \text{J} \cdot 1 \text{ fóton}}{8 \cdot 10^{-28}\ \text{J}} \therefore N \simeq 6 \cdot 10^{31} \text{ fótons}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é um fenômeno físico que consiste na emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto à radiação eletromagnética de frequência específica. Os elétrons emitidos por esses materiais são chamados de fotoelétrons.



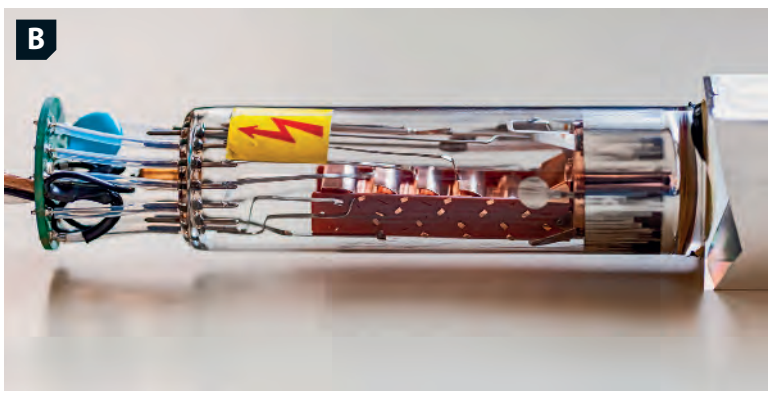
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do efeito fotoelétrico. Fotoelétrons são arrancados de um metal por incidência de radiação eletromagnética. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O efeito fotoelétrico é um fenômeno quântico, o que significa que ele não pode ser explicado pelas teorias da Física Clássica. De acordo com a teoria eletromagnética clássica, a luz é uma onda e, como tal, ela transfere energia para um elétron de forma gradual. No entanto, o efeito fotoelétrico mostra que a luz pode transferir energia para um elétron de forma instantânea.

Há algumas aplicações em Ciência e Tecnologia, como na análise química de materiais com base em emissão fotoeletrônica, em painéis solares (figura A), nos tubos fotomultiplicadores utilizados em detectores nos aceleradores de partículas e em equipamentos médicos (figura B).

NARVIKK/GETTY IMAGES



MAKSYM DELIYERGIYEV/SHUTTERSTOCK

(A) Painéis solares, no telhado de uma residência, geram energia elétrica. **(B)** Tubos fotomultiplicadores, utilizados em equipamentos médicos de diagnóstico por imagens, detectam baixíssimos níveis de luz ou ondas eletromagnéticas.

Os painéis solares, também conhecidos como placas fotovoltaicas, geram energia elétrica por meio do efeito fotoelétrico. Eles podem ser utilizados em empresas e residências como uma forma alternativa e sustentável de gerar energia limpa, pois não emitem resíduos poluentes durante seu funcionamento.

Vamos analisar de maneira mais detalhada esse fenômeno tão importante.

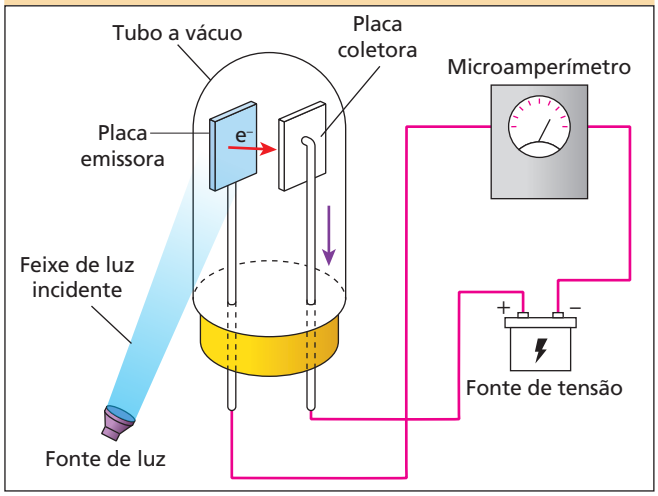
O desenvolvimento do efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi verificado pela primeira vez, de modo acidental, pelo físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) enquanto fazia pesquisas sobre a propagação de ondas eletromagnéticas. Seus experimentos demonstraram que radiação eletromagnética incidindo em determinadas superfícies metálicas causava emissão de elétrons por essas superfícies; mas Hertz não apresentou uma teoria que explicasse sua observação. O físico alemão Philipp Lenard (1862-1947), assistente de Hertz na

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

época, trabalhou para esclarecer tal efeito. Assim, construiu um aparato composto de duas placas metálicas submetidas a uma diferença de potencial e mantidas em vácuo no interior de uma ampola de vidro, semelhante ao esquema mostrado a seguir.

Aparato experimental para o estudo do efeito fotoelétrico



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Physics for Scientists and Engineers**. 6. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Representação esquemática do aparato construído para o estudo do efeito fotoelétrico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando o conjunto é colocado no escuro, o microamperímetro registra zero, ou seja, não há corrente elétrica. Quando uma radiação monocromática ilumina a placa emissora, cria-se um fluxo de cargas entre a placa emissora e a coletora que é registrado pelo microamperímetro. Esse fluxo resulta da corrente elétrica formada pelos elétrons emitidos pela placa emissora e coletados pela placa coletora.

Com esse experimento, foi possível perceber que, quanto maior a intensidade da luz incidente, maior a quantidade de cargas elétricas emitidas. Também foi observado que o efeito fotoelétrico ocorre apenas acima de determinada frequência mínima, independentemente da intensidade da luz incidente. Além disso, a energia cinética adquirida pelas cargas arrancadas da placa fotossensível depende apenas da frequência da luz incidente, e não de sua intensidade.

Posteriormente, o físico britânico James Clerk Maxwell (1831-1879) explicaria a primeira conclusão considerando que a luz é uma onda eletromagnética gerada por variações de campos elétricos e magnéticos. Assim, campos elétricos da luz de grande intensidade seriam capazes de criar uma força elétrica suficiente para arrancar cargas da placa. Já a segunda conclusão não é prevista pela Física Clássica, pois o esperado seria que uma luz mais intensa (com maior energia) arrancasse mais elétrons sem depender de sua frequência. Outros experimentos mostraram que luz violeta (de maior frequência) podia arrancar elétrons de uma placa, e luz vermelha (de menor frequência) não podia.

Em um artigo publicado em 1905, intitulado "Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz", o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) propôs um novo modelo para a luz. A partir do desenvolvimento teórico, filosófico e experimental dessa ideia, o modelo foi associado ao que conhecemos como fóton atualmente. Por esse trabalho e por suas contribuições à Física Teórica, Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física de 1921.

Na visão de Einstein, cada partícula de luz cede toda a sua energia ($E = h \cdot f$) a um único elétron do metal. Uma parte dessa energia, denominada **função trabalho (Φ)**, é usada para superar as forças de atração entre o elétron e o átomo. A função trabalho depende da característica do material. O restante da energia da partícula incidente corresponde à energia cinética máxima ($E_{c_{máx.}}$) adquirida pela partícula, calculada conforme a **equação de Einstein para o efeito fotoelétrico**:

$$E_{c_{máx.}} = h \cdot f - \Phi$$

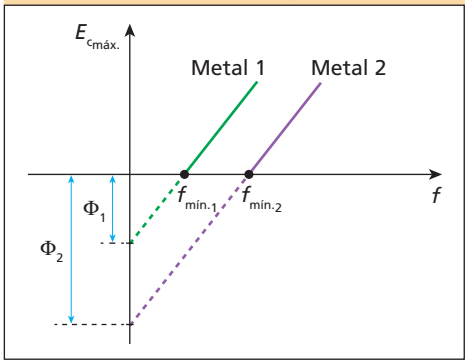
A luz arranca elétrons de um metal quando sua energia, hf, é maior que a função trabalho Φ, que mantém os elétrons ligados aos átomos.

Note que a energia cinética máxima recebida pelos elétrons até serem arrancados é uma função de primeiro grau da frequência da radiação incidente (f).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No gráfico a seguir, há duas retas, descritas por funções do primeiro grau, cada uma delas relativa a um tipo de metal, com suas respectivas funções trabalho e frequências mínimas ($f_{mín.}$) para que ocorra o efeito fotoelétrico. Essa frequência mínima também é chamada de **frequência de corte**.

Gráfico de $E_{c_{máx.}} \times f$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. 9. ed. Boston: Brooks/Cole Cengage Learning, 2014.

Gráfico da energia cinética máxima ($E_{c_{máx.}}$) em função da frequência relativa para dois metais (1 e 2).

Podemos calcular $f_{mín.}$ considerando que, nessa situação, $E_{c_{máx.}} = 0$; assim:

$$E_{c_{máx.}} = hf - \Phi \Rightarrow hf_{mín.} - \Phi = 0 \Rightarrow f_{mín.} = \frac{\Phi}{h}$$

Note que o coeficiente angular da reta é a constante de Planck (h); portanto, as retas sempre serão paralelas para todos os materiais.

A frequência de corte e a função trabalho são características típicas de cada material. Por exemplo, no caso do ferro, a função trabalho (Φ) é de 4,74 eV. O elétron-volt (eV) é uma unidade de medida de energia equivalente a aproximadamente $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

Exemplo

Uma lâmina feita de alumínio, cuja função trabalho vale 4,16 eV, recebe radiação ultravioleta de frequência $1{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz.

a. Qual é a frequência de corte ($f_{mín.}$) do alumínio?

Quando a radiação incide na superfície de alumínio, ela causa a emissão de elétrons por essa superfície; esse fenômeno é conhecido como efeito fotoelétrico.

De acordo com a equação do efeito fotoelétrico de Einstein, podemos calcular a frequência de corte, impondo $E_{c_{máx.}} = 0{,}0$. Assim:

$$E_{c_{máx.}} = hf - \Phi \Rightarrow hf_{mín.} - \Phi = 0{,}0 \Rightarrow f_{mín.} = \frac{\Phi}{h} \Rightarrow f_{mín.} = \frac{4{,}16 \text{ eV}}{4{,}14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}} \therefore f_{mín.} \simeq 1{,}0 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

b. Qual é a energia das partículas de luz incidentes e a energia cinética máxima das partículas de luz emitidas? Considere $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s.

Para calcular a energia das partículas de luz incidentes, podemos usar a equação de Planck, considerando a frequência da radiação incidente; logo:

$$E = h \cdot f \Rightarrow E = 4{,}14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \cdot \frac{1{,}5 \cdot 10^{15}}{\text{s}} \therefore E \simeq 6{,}2 \text{ eV}$$

Para calcular a energia cinética máxima das partículas de luz emitidas, podemos usar novamente a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, considerando a energia das partículas de luz incidentes calculada anteriormente.

$$E_{c_{máx.}} = h \cdot f - \Phi \Rightarrow E_{c_{máx.}} = 6{,}2 \text{ eV} - 4{,}16 \text{ eV} \therefore E_{c_{máx.}} \simeq 2{,}0 \text{ eV}$$

Fique por dentro

Efeito fotoelétrico

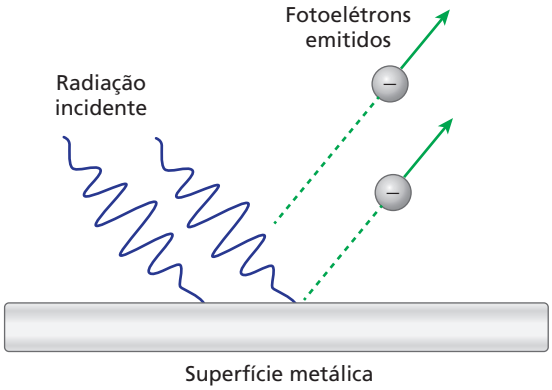
LEMASTER, R. *et al*. Efeito fotoelétrico. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2015. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric. Acesso em: 16 ago. 2024.

Com esse simulador, você pode recriar a experiência que contribuiu para o desenvolvimento da Física Quântica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADE COMENTADA

(Unesp-SP) O efeito fotoelétrico é um processo em que ocorre a emissão de elétrons, chamados fotoelétrons, por uma placa metálica quando a radiação eletromagnética incide sobre ela com uma quantidade de energia suficiente para removê-los da superfície da placa. A quantidade mínima dessa energia que remove cada elétron é chamada função trabalho do metal (Φ). No estudo desse efeito, considera-se que a energia (ε) associada a um fóton de determinada radiação que se propaga com frequência f é dada pela expressão $\varepsilon = h \cdot f$, em que h é uma constante positiva. Nesse processo, essa energia é totalmente absorvida por um elétron ligado à placa, sendo parte utilizada para removê-lo do metal e o restante transformado em energia cinética desse fotoelétron ($E_{cin.} = \varepsilon - \Phi$).



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

A tabela apresenta as funções trabalho do sódio e do alumínio, expressas em joule.

Metal	Φ (J)
Sódio	$3{,}7 \cdot 10^{-19}$
Alumínio	$6{,}5 \cdot 10^{-19}$

Considere que uma radiação ultravioleta de comprimento de onda $\lambda = 4{,}0 \cdot 10^{-7}$ m, propagando-se no vácuo, incida sobre duas placas, uma feita de sódio e outra de alumínio. Sendo o módulo da velocidade da luz no vácuo $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s e adotando-se $h = 6{,}4 \cdot 10^{-34}$ J · s, nessa situação somente a placa de

a alumínio emitirá fotoelétrons, cada um com $2{,}0 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.

b. alumínio emitirá fotoelétrons, cada um com $2{,}4 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.

c. sódio emitirá fotoelétrons, cada um com $2{,}4 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.

d. sódio emitirá fotoelétrons, cada um com $1{,}1 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.

e. alumínio emitirá fotoelétrons, cada um com $1{,}1 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.

Analisar o enunciado

São apresentados o efeito fotoelétrico e o conceito de função trabalho. Na situação descrita, radiação ultravioleta incide sobre duas placas metálicas com características diferentes, uma de sódio e a outra de alumínio.

Selecionar as informações relevantes

A placa de sódio tem função trabalho dada por $\Phi = 3{,}7 \cdot 10^{-19}$ J e a placa de alumínio tem função trabalho dada por $\Phi = 6{,}5 \cdot 10^{-19}$ J.

O comprimento de onda da radiação ultravioleta é $\lambda = 4{,}0 \cdot 10^{-7}$ m, a velocidade da luz no vácuo é $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s e a constante de Planck é dada por $h = 6{,}4 \cdot 10^{-34}$ J · s.

Aplicar o conceito estudado

Aplicando a equação de Planck, podemos calcular a energia da radiação incidente e verificar se ela é suficiente para que ocorra o efeito fotoelétrico.

Para isso, primeiro precisamos determinar a frequência da radiação incidente sobre as placas, por meio da seguinte relação:

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3{,}0 \cdot 10^{8}\ \text{m/s} = 4{,}0 \cdot 10^{-7}\ \text{m} \cdot f \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{3{,}0 \cdot 10^{8}\ \text{m/s}}{4{,}0 \cdot 10^{-7}\ \text{m}} \therefore f = \frac{7{,}5 \cdot 10^{14}}{\text{s}} = 7{,}5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Assim, da equação de Planck, temos:

$$\varepsilon = h \cdot f \Rightarrow \varepsilon = 6{,}4 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} \cdot \frac{7{,}5 \cdot 10^{14}}{\text{s}} \therefore \varepsilon = 4{,}8 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Em seguida, vamos analisar e comparar as energias fornecidas na tabela com a da radiação incidente. Note que só haverá efeito fotoelétrico para o sódio, pois a energia do fóton é maior que sua função trabalho ($3{,}7 \cdot 10^{-19}$ J).

Para o alumínio, a energia da radiação incidente ($4{,}8 \cdot 10^{-19}$ J) é menor que a função trabalho ($6{,}5 \cdot 10^{-19}$ J) e não haverá efeito fotoelétrico.

Para a determinação da energia cinética dos fotoelétrons emitidos, vamos utilizar a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico.

$$E_{cin.} = \varepsilon - \Phi \Rightarrow E_{cin.} = 4{,}8 \cdot 10^{-19}\ \text{J} - 3{,}7 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

$$\therefore E_{cin.} = 1{,}1 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Verificar a solução

A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico expressa o princípio da conservação da energia. Portanto, se fizermos a adição da energia cinética ($E_{cin.}$) com a função trabalho (Φ), obteremos o valor da energia da radiação incidente.

Alternativa **d**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

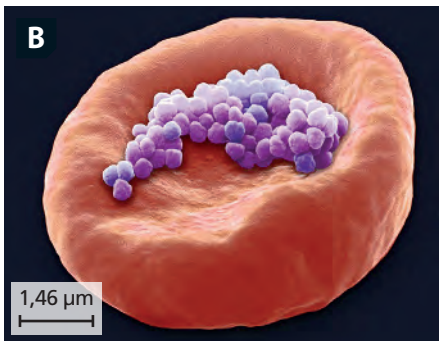
Registre em seu caderno

1. Explique o que caracteriza um corpo negro.
2. Os físicos Max Planck e Albert Einstein foram laureados com o Prêmio Nobel de Física por suas contribuições no desenvolvimento da Física Quântica. Planck recebeu o prêmio de 1918, por sua hipótese quântica, e Einstein recebeu o prêmio de 1921, pelo efeito fotoelétrico e por suas contribuições à Física Teórica. Descreva brevemente:
   a. a hipótese quântica de Planck;
   b. o efeito fotoelétrico.
3. Em 1905, o físico Albert Einstein publicou uma teoria do efeito fotoelétrico que explicava as observações experimentais do físico Philipp Lenard. A teoria de Einstein foi baseada na ideia de que a luz é composta de partículas, que denominamos fótons. Essas partículas têm energia proporcional à sua frequência. Considere que, quando um fóton atinge um elétron em um metal, ele pode transferir sua energia para o elétron, ejetando-o do metal.
   a. Qual grandeza física é fundamental para a ocorrência do efeito fotoelétrico: a intensidade da radiação incidente ou a frequência da radiação incidente? Explique.
   b. Defina o que é a função trabalho de um metal.

1. Um corpo negro é caracterizado pela capacidade de absorver toda a radiação que incide sobre ele.
2. a. A hipótese quântica de Planck propõe que a energia das radiações eletromagnéticas é quantizada, ou seja, dada por valores inteiros específicos, conhecidos como "pacotes de energia" (*quanta*).
2. b. O efeito fotoelétrico é um fenômeno físico quântico que consiste na emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto à radiação eletromagnética de frequência específica, emitindo os chamados fotoelétrons.
3. a. A grandeza física que estabelece a ocorrência do efeito fotoelétrico é a frequência. O fenômeno só pode acontecer a partir de uma frequência específica denominada frequência mínima. A intensidade da radiação interfere no número de elétrons que serão emitidos.
3. b. Função trabalho é a energia utilizada no trabalho de extração do elétron do metal, ou seja, é a energia mínima necessária para superar a atração dos átomos do metal sobre o elétron, permitindo que este escape do átomo.

Dualidade onda-partícula

ANAMEJIA18/GETTY IMAGES



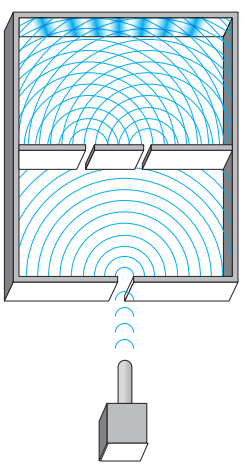
STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARENA

(A) Cientista trabalhando com um microscópio eletrônico de varredura em um laboratório. **(B)** Micrografia de microplásticos encontrados em produtos cosméticos sobre um glóbulo vermelho. Imagem obtida por um microscópio eletrônico de varredura, colorizada artificialmente e ampliada cerca de 7.000 vezes. (Imagens sem escala.)

Em um microscópio eletrônico de varredura, a emissão de um feixe de elétrons (no lugar do feixe de luz do microscópio convencional) permite a obtenção de imagens de estruturas muito pequenas. Mas, durante o percurso, será que os elétrons do feixe se comportam como partículas ou como ondas?

No mundo macroscópico, as propriedades de partículas e de ondas são bem definidas; já no mundo microscópico, os físicos observaram fenômenos que colocaram em dúvida a separação entre os conceitos de ondas e partículas. No início do século XX, experimentos começavam a mostrar que os constituintes mais básicos da matéria podiam se comportar ora como onda, ora como partícula.

Em 1800, o físico inglês Thomas Young (1773-1829) anunciou, perante a instituição científica Royal Society, de Londres, na Inglaterra, os resultados de uma série de estudos sobre o movimento ondulatório da luz, conhecidos como experimento da dupla-fenda. Nesse experimento, uma fonte luminosa era direcionada a uma placa contendo duas fendas, que funcionavam como duas fontes de luz em fase. A luz dessas fontes, por sua vez, incidia em um anteparo. Considerando o comportamento ondulatório da luz, as ondas de luz provenientes de cada fonte deveriam interagir por meio de interferências construtivas e destrutivas, devido ao fenômeno da difração. Assim, no anteparo, apareciam regiões claras e escuras, correspondendo a essas interferências construtivas e destrutivas, respectivamente.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do experimento da dupla-fenda com uma fonte que emite ondas. No anteparo, ficam registradas as regiões de interferência construtiva das ondas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

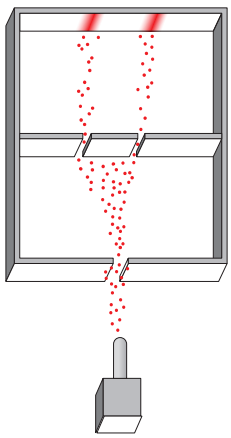
Até o início do século XX, considerava-se que os elétrons apresentavam um comportamento de partícula. Em 1924, o físico francês Louis de Broglie (1892-1987) apresentou o conceito de dualidade onda-partícula, segundo o qual as partículas da matéria, como elétrons e prótons, podem também se comportar como ondas, portanto têm um comprimento de onda associado – conceito também estendido às partículas de luz, os fótons.

De Broglie propôs que um comprimento de onda associado a um elétron de massa m e velocidade de intensidade v em dada órbita ao redor do núcleo pode ser determinado pela relação:

$$\lambda_B = \frac{h}{m \cdot v}$$

Em que h é a constante de Planck.

Nessa equação, o caráter ondulatório é representado pelo comprimento de onda (λ_B) e o caráter corpuscular, pela quantidade de movimento ($m \cdot v$). Como a constante de Planck é um número muito pequeno, os efeitos ondulatórios não são observáveis na escala macroscópica. No entanto, para os elétrons, que têm tamanho da ordem do angstrom ($1\ Å = 10^{-10}$ m), os efeitos são perceptíveis, pois sua massa é muito pequena e sua velocidade é muito alta.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação esquemática do experimento da dupla-fenda com uma fonte que emite partículas. No anteparo, ficam registradas regiões de alta concentração de partículas, correspondentes a regiões de interferência construtiva. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em 1927, os físicos estadunidenses Clinton Joseph Davisson (1881-1958) e Lester Halbert Germer (1896-1971) usaram elétrons em um experimento semelhante ao de Thomas Young e o resultado mostrou um padrão de interferência entre esses elétrons – o que seria esperado se eles apresentassem um comportamento de onda. Mesmo quando repetiam o experimento lançando um elétron por vez, a figura resultante de interferência era a mesma. No mesmo ano e de maneira independente, o físico inglês George Paget Thomson (1892-1975) – filho do físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940), pioneiro no estudo do elétron – também obteve padrões de interferência com elétrons, devido ao fenômeno da difração. Atualmente, o conceito de dualidade onda-partícula é amplamente aceito.

Exemplo

Qual é o comprimento de onda de De Broglie nos dois casos distintos a seguir?

a. Uma pessoa de massa 70 kg movendo-se com velocidade de intensidade 5 m/s.

No caso da pessoa, lembrando que $1\ J = 1\ kg \cdot m^2/s^2$, temos:

$$\lambda_{pessoa} = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s}{70\ kg \cdot 5\ m/s} \therefore \lambda_{pessoa} \simeq 2 \cdot 10^{-36}\ m$$

b. Um elétron de massa $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg movendo-se com velocidade de intensidade $3{,}0 \cdot 10^6$ m/s.

No caso do elétron, temos:

$$\lambda_{elétron} = \frac{h}{mv} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\ kg \cdot 3{,}0 \cdot 10^6\ m/s} \therefore \lambda_{elétron} \simeq 2{,}4 \cdot 10^{-10}\ m$$

Princípio da incerteza

Por meio da Física Clássica, de acordo com as leis de Newton, a posição e a velocidade de um corpo ou objeto podem ser determinadas de forma precisa. Porém, existe uma limitação física quando tratamos da escala atômica. Se quiséssemos observar um elétron, por exemplo, precisaríamos que ao menos um fóton interagisse com ele. No entanto, quando há essa interação, o fóton transfere parte de sua quantidade de movimento, alterando a velocidade e a posição do elétron. O simples fato de tentar observar o elétron, mesmo que com um único fóton, faz com que sua velocidade e sua posição mudem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Essa indeterminação associada à posição e à velocidade foi proposta pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) e ficou conhecida como **princípio da incerteza**. Matematicamente, o princípio pode ser representado pela equação:

$$\Delta x \cdot \Delta Q \geqslant \frac{h}{4\pi}$$

Em que Δx é a incerteza na determinação da posição, ΔQ é a incerteza na determinação da quantidade de movimento e h é a constante de Planck.

Portanto, não é possível determinar de maneira precisa a posição e a quantidade de movimento de uma partícula, o que impossibilita a verificação das condições iniciais de seu movimento, tornando-o imprevisível. Com isso, foi necessário repensar a forma de interpretar o Universo nas escalas atômica e subatômica.

Fique por dentro

Teoria e realidade

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 2008.

Esse livro apresenta teorias da Física e suas implicações filosóficas, discutindo como essas teorias impactam comportamentos e visões de mundo da sociedade.

Modelos atômicos: da indivisibilidade ao átomo de Bohr

Longe de ser uma unanimidade entre os cientistas, a ideia do átomo como partícula fundamental formadora de toda a matéria começou a ser discutida ainda na Antiguidade. Em 1808, o químico e físico inglês John Dalton (1766-1844) descreveu o átomo como uma bola de bilhar, maciça e indivisível, que constituía a unidade básica da matéria.

Em 1897, com base em resultados obtidos em experimentos com raios catódicos, Joseph John Thomson determinou e inferiu a existência do elétron, uma partícula de carga negativa ainda mais elementar do que o átomo. De acordo com o seu modelo, o átomo era constituído por uma esfera carregada positivamente com elétrons, carregados negativamente, distribuídos por essa esfera.

A partir de uma série de experimentos com partículas α, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) propôs, em 1911, um novo modelo, no qual o átomo era constituído por espaço vazio, um núcleo denso e carregado positivamente, com elétrons carregados negativamente dispostos ao redor desse núcleo positivo, interagindo eletricamente com ele.

Pouco tempo depois, com o avanço em pesquisas que envolviam estruturas cada vez menores da matéria, em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) propôs um modelo atômico no qual os elétrons ocupam apenas determinadas órbitas, chamadas de **estados estacionários**. Isso porque, como o elétron se move ao redor do núcleo, ele apresenta aceleração centrípeta (já que não está em uma trajetória retilínea) e deveria emitir radiação, perdendo energia e, por fim, colapsando no núcleo. Nessas órbitas, os elétrons podem se mover sem perder energia e, portanto, sem emitir radiação.

De acordo com Bohr, os raios das órbitas circulares permitidas para o elétron de um átomo de hidrogênio são calculados por:

$$r_n = n^2 \cdot r_B$$

Em que r_B é o raio de Bohr e n é o nível da órbita permitida.

Quando $n = 1$, ele corresponde ao estado fundamental do átomo (primeiro estado estável). No caso do átomo de hidrogênio, o raio de Bohr vale 0,53 Å.

A energia de cada nível permitido para o átomo de hidrogênio, em elétron-volt (eV), é calculada pela fórmula de Bohr:

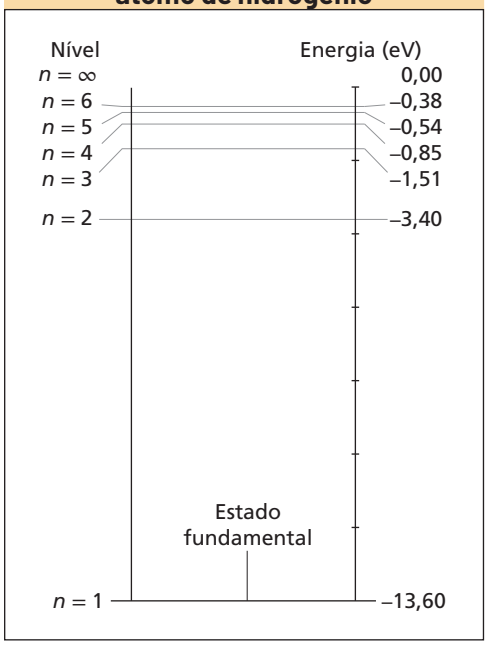
$$E_n = \frac{-13{,}6\ \text{eV}}{n^2}$$

Costuma-se adotar como zero a energia de um elétron muito distante do átomo ($n \to \infty$). Os níveis dos estados ligados são sempre menores, uma vez que a tendência natural do elétron é ocupar um nível de menor energia possível. Portanto, de acordo com essa referência, os valores de energia desses níveis são negativos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os níveis de menor energia dos estados estacionários possíveis para o átomo de hidrogênio estão representados a seguir.

Níveis de energia do átomo de hidrogênio



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. 9. ed. Boston: Brooks/Cole Cengage Learning, 2014.

Diagrama dos níveis de energia (*n*) para o átomo de hidrogênio.

Exemplo

Considerando a distribuição dos níveis de energia do átomo de hidrogênio, responda.

a. Qual é a energia necessária para ionizar um átomo desse elemento, considerando que ele esteja em seu estado fundamental?

Para que a ionização ocorra, a energia absorvida pelo elétron deve promover uma transição do nível inicial (nesse caso, $n = 1$) para o infinito, ou seja, a energia deve variar de –13,60 eV até 0; logo:

$$\Delta E = 0 \text{ eV} - (-13{,}60 \text{ eV}) \therefore \Delta E = 13{,}60 \text{ eV}$$

b. Qual deve ser a frequência de um fóton emitido na transição do estado 3 para o estado 1?

Para calcular a frequência de um fóton emitido na transição do estado 3 para o estado 1, primeiro deve-se calcular a diferença de energia entre os dois níveis. Assim:

$$E_3 - E_1 = -1{,}51 \text{ eV} - (-13{,}60 \text{ eV}) \therefore \Delta E = 12{,}09 \text{ eV}$$

Convertendo 12,09 eV em J, considerando $1 \text{ eV} \simeq 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ J, temos:

$$12{,}09 \text{ eV} \simeq 19{,}34 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

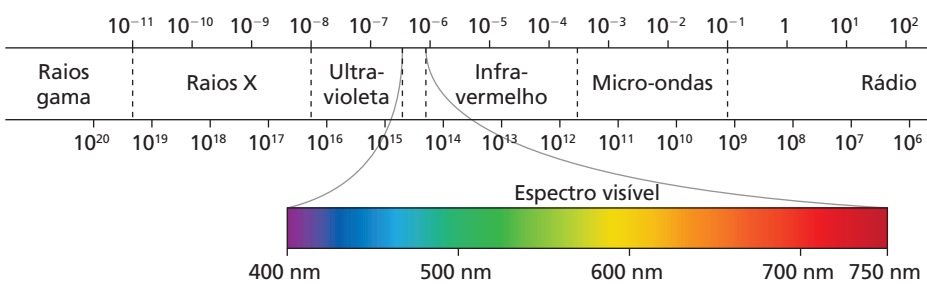
Aplicando a equação de Planck, é possível calcular a frequência correspondente à energia do fóton. Logo:

$$\Delta E = h \cdot f \Rightarrow 19{,}34 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot f$$
$$\therefore f \simeq 2{,}92 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

De acordo com o modelo de Bohr, quando o elétron emite um fóton (ou seja, emite radiação eletromagnética) com determinada frequência, ele perde energia e vai de uma órbita com raio maior para uma com raio menor. É o mesmo que dizer que ele vai de um estado de maior energia para um de menor energia. O processo inverso ocorre se o elétron absorve um fóton. A diferença de energia é dada pela equação de Planck.

A radiação eletromagnética, por sua vez, pode ser decomposta em um intervalo de frequências ou comprimentos de ondas chamado **espectro eletromagnético**. Ele abrange desde as ondas de rádio até os raios gama, conforme a figura a seguir.

Espectro eletromagnético



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 4.

Espectro eletromagnético, com destaque para a faixa visível do espectro.

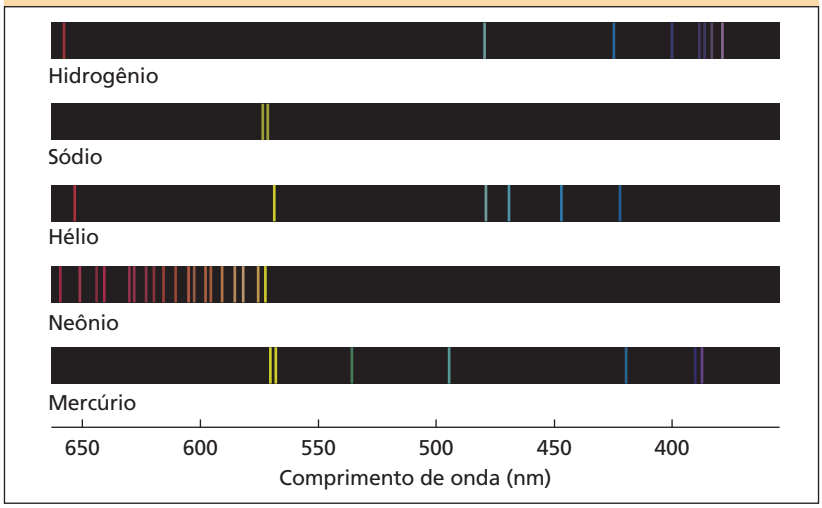
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando um gás é aquecido, ele emite luz em determinados comprimentos de onda, formando um espectro de cores chamado **espectro de emissão**. Se o gás absorve os fótons, o espectro formado é chamado de **espectro de absorção**. Como a absorção e a emissão ocorrem somente em determinados comprimentos de onda, apenas algumas linhas serão visíveis em um diagrama espectral.

Para construir um diagrama espectral, pode-se preencher um tubo com gás e aplicar uma tensão elétrica em suas extremidades, de modo que, em seu interior, ocorra uma corrente elétrica de intensidade suficiente para gerar emissão de luz.

A luz emitida nesse experimento é então decomposta por um prisma em um aparelho chamado espectroscópio. Como resultado, é gerado um diagrama (o espectro de emissão) contendo uma série de linhas características do gás que preenche o tubo, cada uma delas referente a um respectivo comprimento de onda. Diferentes elementos químicos apresentam distintos espectros de emissão, como mostra a figura a seguir.

Espectros de emissão



NELSON MATSUDA/ARQUIVO DA EDITORA

Fonte: elaborado com base em TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

Espectros de emissão do hidrogênio (H), sódio (Na), hélio (He), neônio (Ne) e mercúrio (Hg) em função do comprimento de onda.

O espectro formado é único para cada elemento químico. Assim, ele pode ser usado para identificar quais elementos químicos estão presentes em uma amostra; por exemplo, para identificar a composição dos pigmentos presentes em plantas ou mesmo a composição química de uma estrela distante. Esse estudo é conhecido como espectroscopia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aplique e registre

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

4. O que é a dualidade onda-partícula na Física Quântica?

5. De acordo com o princípio da incerteza, por que é impossível determinar de maneira precisa a posição e a quantidade de movimento de uma partícula, simultaneamente, na escala atômica?

6. (UFPR) Entre as inovações da Física que surgiram no início do século XX, uma foi o estabelecimento da teoria _____, que procurou explicar o surpreendente resultado apresentado pela radiação e pela matéria conhecido como dualidade entre _____ e ondas. Assim, quando se faz um feixe de elétrons passar por uma fenda de largura micrométrica, o efeito observado é o comportamento _____ da matéria, e quando fazemos um feixe de luz incidir sobre uma placa metálica, o efeito observado pode ser explicado considerando a luz como um feixe de _____.

Indique a alternativa que apresenta a sequência correta de palavras para o preenchimento das lacunas nas frases acima. 6. Alternativa **c**.

a. Relativística – partículas – ondulatório – partículas.
b. Atomística – radiação – rígido – ondas.
c. Quântica – partículas – ondulatório – partículas.
d. Relativística – radiação – caótico – ondas.
e. Quântica – partículas – ondulatório – ondas.

4. A dualidade onda-partícula é o conceito de que elétrons e fótons podem comportar-se como partículas ou como ondas, dependendo do experimento.

5. Porque, para observar a posição de um elétron, é necessário que ele interaja com, pelo menos, um fóton, e essa ação faz com que o fóton transfira parte de sua quantidade de movimento ao elétron, alterando sua velocidade e posição.

Registre em seu caderno

EM FOCO A nanotecnologia e suas aplicações

ODS 9

A nanotecnologia é um campo científico e tecnológico voltado ao estudo e ao desenvolvimento de materiais com dimensões da ordem de unidades ou dezenas de nanômetros (isto é, estruturas com dimensões da ordem de 10^{-9} metro), permitindo o controle e a utilização dessas estruturas para o aperfeiçoamento de diversas aplicações tecnológicas. Essas estruturas podem ocorrer naturalmente, como na cinza vulcânica e em alguns minerais, ou ser produzidas artificialmente.

Atualmente, a nanotecnologia é considerada uma área estratégica importante para o desenvolvimento social e econômico. Desde o início do século XXI, o Brasil tem aumentado o investimento nesse setor, por meio da criação de programas e políticas públicas, adesão a colaborações internacionais e o estabelecimento de programas de pós-graduação voltados a essa área.

O interesse no desenvolvimento de nanomateriais decorre das propriedades únicas que esses materiais apresentam na escala nanométrica, que diferem significativamente das características observadas em materiais na escala macroscópica. Um exemplo notável é o do grafeno, um material formado pela reordenação da estrutura molecular do grafite em uma estrutura hexagonal altamente resistente e com alta condutividade térmica e elétrica. Suas aplicações são fundamentais em diversas áreas, desde a Eletrônica até a Medicina.

> [A nanotecnologia está] presente em vários produtos do nosso cotidiano, como nos protetores solares, em calçados esportivos, telefones celulares, tecidos, cosméticos, automóveis e medicamentos, entre outros, também é muito ativa em vários setores, tais como: energia, agropecuária, tratamento e remediação da água, cerâmica e revestimentos, materiais compostos, plásticos e polímeros, aeroespacial, naval e automotivo, siderurgia, odontológico, têxtil, cimento e concreto, microeletrônica, diagnóstico e prevenção de doenças e medicamentos.
>
> **Fonte:** EMBRAPA. **Nanotecnologia**: sobre o tema. Brasília: Embrapa, 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-nanotecnologia/nota-tecnica. Acesso em: 24 set. 2024.

Com o seu impacto no setor industrial, a nanotecnologia tem impulsionado a indústria nacional de alta tecnologia ao gerar demandas de serviços, matérias-primas e equipamentos. Esse crescimento fortalece a economia brasileira , contribuindo para a geração de empregos e renda. Além disso, o desenvolvimento científico e tecnológico amplia a competitividade do país no cenário industrial global, reforçando a posição de importância do Brasil na América Latina e no mundo.

1. O que é a nanotecnologia e qual a sua importância?
2. De acordo com o texto, que medidas o Brasil tem adotado para o desenvolvimento da área de nanotecnologia?
3. Quais áreas da Ciência podem se beneficiar do desenvolvimento da nanotecnologia?
4. Como o desenvolvimento da nanotecnologia pode destacar a indústria brasileira no cenário global de inovação científica e tecnológica?

1. A nanotecnologia é um campo de estudo que se dedica à investigação das propriedades da estrutura da matéria na nanoescala. Ela é importante para o desenvolvimento e transformação da indústria e fundamental para o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias.

2. O Brasil tem aumentado o investimento na área da nanotecnologia com a criação de programas e políticas públicas e adesão a colaborações internacionais, por exemplo.

3. As pesquisas em nanotecnologia podem impactar diversas áreas da Ciência, como Medicina, Biologia, Física e Química, por exemplo.

4. O desenvolvimento da nanotecnologia pode posicionar o Brasil como um líder regional em Ciência e Tecnologia, aumentando as possibilidades de investimentos internacionais e colaborações científicas, que potencializam a produção do conhecimento e inovação no país.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES DE FECHAMENTO

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

1. Uma estação de rádio funciona com frequência de 103,7 MHz com uma potência de saída de 200,0 kW. Calcule a quantidade de fótons emitidos por segundo por essa estação. Considere a constante de Planck $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s. 1. $\simeq 2{,}9 \cdot 10^{30}$ fótons/s

2. (PUC-RS) O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1887. Hertz observou que, quando certas frequências de luz iluminavam uma placa metálica, elétrons excitados, denominados fotoelétrons, deixavam o metal. Posteriormente, esse efeito foi explicado por Albert Einstein quando introduziu o conceito de fóton.

Durante um experimento, um professor demonstrou o efeito fotoelétrico iluminando diferentes placas metálicas com radiação infravermelha ($E = 1{,}38$ eV) e radiação ultravioleta ($E = 4{,}13$ eV).

A tabela a seguir apresenta a função trabalho (Φ) dos materiais utilizados.

Metal	(Φ) (eV)
Sódio	2,28
Alumínio	4,08
Prata	4,73

Como resultado, quando as placas foram iluminadas com radiação infravermelha, o fenômeno [redacted] observado nesses materiais. Quando as placas foram iluminadas com radiação ultravioleta, o fenômeno não foi observado para [redacted], enquanto a máxima energia cinética dos fotoelétrons foi observada para [redacted].

a. foi – alumínio – sódio 2. Alternativa **d**.
b. foi – prata – alumínio
c. não foi – sódio – alumínio
d. não foi – prata – sódio

3. Considerando que a lei de Wien seja válida para a pele humana, e que ela esteja a 37,0 °C, responda.

a. Qual deve ser o comprimento de onda da radiação emitida pelo corpo humano nessas condições?
b. Essa radiação está em que faixa do espectro eletromagnético? 3. a. $\simeq 9{,}3 \cdot 10^{-6}$ m
3. b. Infravermelho.

4. (UPE) O princípio da incerteza de Heisenberg trata da 4. Alternativa **b**.

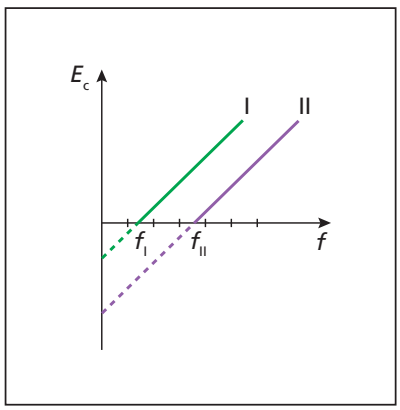
a. incerteza do conhecimento da Física de que tudo é sempre relativo e nunca definitivo.
b. imprecisão de definir as coordenadas de posição e o momento linear de uma partícula quântica, simultaneamente, ao longo de uma direção.
c. dificuldade de encontrar um elétron nas camadas de valência do átomo.
d. dilatação do tempo e contração dos objetos ao atingirem velocidade próxima à da luz.
e. variação de entropia e o sentido da seta do tempo.

5. (Enem) As células fotovoltaicas (placas semicondutoras compostas de silício) são os componentes principais dos painéis solares e são capazes de converter, com certa eficiência, parte da energia dos raios solares em energia elétrica. Essa conversão é causada pelo fenômeno físico denominado "efeito fotoelétrico", que pode ocorrer em uma variedade de materiais, incluindo metais e semicondutores. 5. Alternativa **a**.

Na superfície dos metais, a sequência de eventos que caracteriza esse efeito, de forma simplificada, é a

a. absorção de fótons e a emissão de elétrons.
b. absorção de elétrons e a emissão de fótons.
c. emissão de fótons e a absorção de elétrons.
d. absorção e a emissão de elétrons.
e. absorção e a emissão de fótons.

6. (UFRGS-RS) O gráfico a seguir mostra a energia cinética E_c de elétrons emitidos por duas placas metálicas, I e II, em função da frequência f da radiação eletromagnética incidente.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Sobre essa situação, são feitas três afirmações.

I. Para $f > f_{II}$, a E_c dos elétrons emitidos pelo material II é maior do que a dos elétrons emitidos pelo material I.
II. O trabalho realizado para liberar elétrons da placa II é maior do que o realizado na placa I.
III. A inclinação de cada reta é igual ao valor da constante universal de Planck, h.

Quais estão corretas? 6. Alternativa **d**.

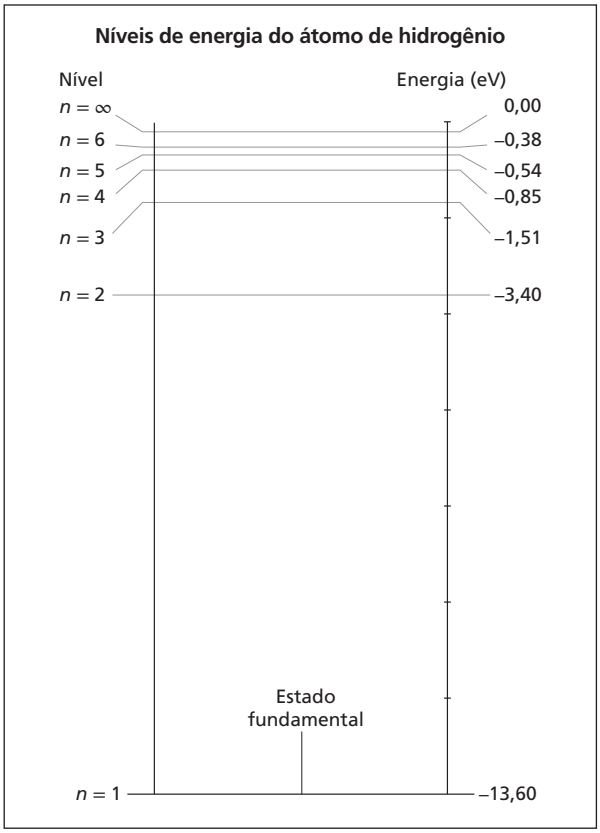
a. Apenas I.
b. Apenas II.
c. Apenas III.
d. Apenas II e III.
e. I, II e III.

7. Suponha que um átomo de hidrogênio, em seu estado fundamental, receba dois fótons com energias 9,25 eV e 12,75 eV. Consulte o diagrama de energias de estados possíveis desse átomo, mostrado a seguir, e responda ao que se pede.

Continua

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Fonte: elaborado com base em SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. 9. ed. Boston: Brooks/Cole Cengage Learning, 2014.

Diagrama dos níveis de energia (n) para o átomo de hidrogênio. 7. a. Apenas o fóton com energia 12,75 eV, que corresponde à variação de energia de $n = 1$ para $n = 4$.

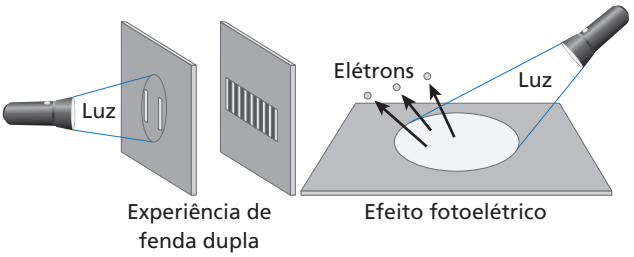
a. Qual dos fótons poderá ser absorvido pelo átomo em seu estado fundamental? Por quê?

b. Considerando a absorção desse fóton em seu estado fundamental, em qual estado deve ficar esse átomo após a absorção? 7. b. Estado excitado, $n = 3$.

c. Em estado excitado, o átomo pode decair para outros estados por meio da emissão de radiação eletromagnética para quais níveis? Calcule, com a equação de Planck, a energia e a frequência de cada uma das radiações que podem ser emitidas. Considere a constante de Planck $h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ eV · s.

8. (UFSC) A natureza da luz é um tema que ocupa os estudiosos desde a antiguidade. As teorias corpuscular e ondulatória buscam a preferência de cientistas famosos para explicar fenômenos importantes da ciência. No entanto, após o experimento da fenda dupla de Thomas Young, em 1802, e da explicação do efeito fotoelétrico realizada por Albert Einstein, em 1905, a ideia da dualidade onda/partícula da luz foi aceita pela comunidade científica. A experiência da fenda dupla consiste em fazer a luz passar por duas fendas em uma placa e observar o padrão de franjas (listras) claras e franjas (listras) escuras. Já o efeito fotoelétrico consiste em incidir luz sobre uma placa metálica para arrancar elétrons.

7. c. De $n = 4$ para $n = 1$: $\Delta E = 12{,}75$ eV; $f \simeq 3{,}1 \cdot 10^{15}$ Hz
De $n = 4$ para $n = 2$: $\Delta E = 2{,}55$ eV; $f \simeq 6{,}2 \cdot 10^{14}$ Hz
De $n = 4$ para $n = 3$: $\Delta E = 0{,}66$ eV; $f \simeq 1{,}6 \cdot 10^{14}$ Hz



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Considerando o que foi exposto anteriormente, é correto afirmar que:

01. O efeito fotoelétrico foi explicado por Einstein pela teoria ondulatória da luz.

02. A formação do padrão de franjas claras e franjas escuras no experimento da fenda dupla de Young foi explicada pela teoria corpuscular da luz, em que as partículas da luz (fótons) sofrem o fenômeno de interferência.

04. No efeito fotoelétrico, para arrancar os elétrons da placa, a luz deve ser formada por partículas (fótons) com uma energia mínima que é proporcional à frequência da luz.

08. Tanto a teoria corpuscular quanto a teoria ondulatória da luz explicam o padrão de franjas claras e franjas escuras no experimento da fenda dupla.

16. No experimento de Young, a obtenção do padrão de franjas claras e franjas escuras ocorre por meio do fenômeno de interferência construtiva e interferência destrutiva das ondas, logo a explicação do fenômeno é ondulatória.

32. Os fenômenos de interferência e difração são mais bem representados pela teoria ondulatória da luz, enquanto o fenômeno do efeito fotoelétrico é mais bem representado pela teoria corpuscular da luz.

A resposta correta será a soma dos números correspondentes às proposições corretas. 8. 04 + 16 + 32 = 52

9. (UFJF-MG) O átomo de hidrogênio é composto por um próton e um elétron. No estado fundamental, a energia de ligação entre eles é de –13,60 eV. A energia de ligação do primeiro estado excitado é –3,40 eV, e a do segundo é –1,50 eV, conforme representado na figura A. Considere que o elétron esteja no segundo estado excitado. Para decair para o estado fundamental, ele emitirá fótons. A figura B representa linhas de espectro de emissão do átomo de hidrogênio, com os respectivos valores de energia indicados.

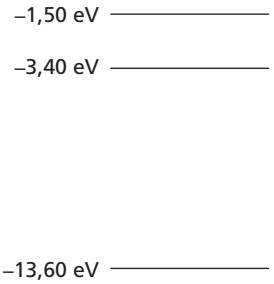


Figura A

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura B

Quais linhas podem aparecer nesse decaimento?

a. Somente as linhas com energia 12,10 eV, 10,20 eV e 1,90 eV. 9. Alternativa **a.**

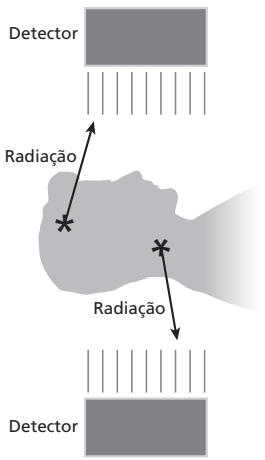
b. Somente a linha com energia 12,10 eV.

c. Com exceção da linha de 12,75 eV, todas as demais.

d. Somente a linha com energia 12,75 eV.

e. Somente as linhas com energia 10,20 eV e 1,90 eV.

10. (Vunesp-Famerp-SP) Em certos exames de Medicina nuclear, uma substância radioativa é administrada ao paciente que, posteriormente, é acomodado em um aparelho. Quando o elemento radioativo decai, os detectores do aparelho captam parte dos fótons emitidos.



(Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Sabe-se que a energia associada a um fóton está relacionada com a frequência da radiação pela expressão $E_f = h \cdot f$, sendo h a constante de Planck, cujo valor é $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s. Suponha que o elemento radioativo utilizado em um desses exames seja o tecnécio-99m, que emite radiação cujos fótons têm energia associada de $2{,}24 \cdot 10^{-14}$ J, e considere os detectores de radiação sensíveis às faixas de frequência indicadas na tabela.

Detector	Faixa de sensibilidade (Hz)
I	10^{12} a 10^{13}
V	10^{13} a 10^{14}
U	10^{16} a 10^{17}
X	10^{17} a 10^{18}
G	10^{19} a 10^{20}

Para que possam captar os fótons emitidos pelo tecnécio-99m, os detectores utilizados no aparelho devem ser do tipo: 10. Alternativa **b.**

a. X.

b. G.

c. V.

d. I.

e. U.

11. Em grupo com dois colegas, pesquisem como são acesas e apagadas automaticamente as lâmpadas dos postes da iluminação pública no município em que moram e discutam as vantagens e desvantagens do uso dessa tecnologia nos sistemas de iluminação pública.

11. Espera-se que os estudantes associem o funcionamento do sistema de iluminação pública ao efeito fotoelétrico. Em muitos munícipios são utilizadas células fotoelétricas ou relés fotoelétricos para controlar o acendimento automático das lâmpadas dos postes de iluminação. Com a automação dos sistemas de iluminação, é possível reduzir o consumo de energia elétrica, evitando que as lâmpadas fiquem acesas desnecessariamente.

Reflita sobre seu aprendizado!

Respostas e subsídios no Suplemento para o professor.

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com esta unidade foi finalizado, é o momento de você refletir sobre seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, analise e responda às questões a seguir.

- Retome as questões da seção **Pense nisso!** na abertura desta unidade e avalie se concorda com suas respostas anteriores depois das discussões realizadas ao longo do estudo dos capítulos. Reescreva-as, se for necessário.
- O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?
- Quais assuntos/atividades geraram mais dificuldades para sua aprendizagem? Como você superou essas dificuldades?
- Reveja os pontos que deixaram dúvidas e que não foram bem compreendidos. Converse sobre eles com seus colegas e com seu professor a fim de planejarem outras possíveis estratégias de estudo.
- O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

EDUCAÇÃO MIDIÁTICA

Algoritmos de inteligência artificial

SMILE STUDIO AP/SHUTTERSTOCK

A inteligência artificial (IA) tem se tornado cada vez mais presente em nosso dia a dia. Ela é aplicada em assistentes virtuais de serviços de atendimento ao cliente, por exemplo, para otimizar a gestão e a segurança dos dados armazenados em nuvem, para melhorar a precisão dos resultados fornecidos por *sites* de busca e para personalizar o conteúdo de anúncios publicitários divulgados em diferentes plataformas digitais.

Cada vez mais lidamos com uma quantidade expressiva de informações no dia a dia, seja na escola, em casa ou nos espaços de trabalho. As informações a que estamos expostos nas mídias digitais parecem estar cada vez mais personalizadas e adaptadas aos nossos interesses pessoais. São cada vez mais comuns algoritmos de inteligência artificial alimentados com as informações fornecidas pelos usuários, ainda que de forma não intencional, para fornecer resultados personalizados para pesquisas ou anúncios publicitários. No entanto, as informações fornecidas por tecnologias de inteligência artificial podem ser tendenciosas e não corresponder aos fatos e à realidade, por isso é importante estarmos atentos ao uso dessas tecnologias, para que elas não sejam mais uma fonte de desinformação.

Você já utilizou algum serviço que aplica inteligência artificial? Sabe identificar as plataformas digitais que utilizam algoritmos de inteligência artificial?

Em grupo com três colegas, reflitam sobre essa temática. Conversem sobre a presença cada vez mais marcante da inteligência artificial no ambiente virtual, seu impacto no cotidiano, os benefícios e os desafios dessa tecnologia em um mundo cada vez mais conectado, e como os algoritmos das redes sociais podem influenciar a tomada de decisões. As questões a seguir podem ajudar nessa reflexão.

1. O que vocês entendem por inteligência artificial?

2. Vocês já se depararam com essa tecnologia nas plataformas digitais?

3. Por que vocês acham que a inteligência artificial se tornou tão popular?

4. Dos recursos digitais que vocês mais usam, quais deles vocês supõem que utilizam inteligência artificial?

5. Como as tecnologias de inteligência artificial podem criar e manipular informações?

6. Vocês já se depararam com informações manipuladas ou geradas por inteligência artificial? Que atitudes tomaram com relação a isso?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ampliação de repertório

Depois dessa reflexão inicial, é hora de aprofundar as discussões com seus colegas de grupo com pesquisas sobre inteligência artificial. Vocês percebem a presença e atuação de sistemas algorítmicos em aplicativos, plataformas e serviços digitais que utilizam? Sabem como esses sistemas funcionam? Pesquisem como esse tema vem sendo debatido por órgãos públicos e pelas empresas de tecnologia para assegurar aspectos éticos e de segurança de informações, e as legislações e regulações sobre inteligência artificial no Brasil.

Vocês também podem complementar a pesquisa com iniciativas de organizações da sociedade civil em defesa dos direitos dos consumidores, em relação à inteligência artificial.

Pesquisem como a inteligência artificial e os algoritmos personalizam as informações disponibilizadas para os usuários nas redes sociais, com base no histórico de usuário, analisando seus interesses e comportamentos, aumentando as chances de engajamento. Pesquisem a aplicação dessa tecnologia em tarefas simples, como enviar mensagens e desbloquear o telefone.

Para facilitar a etapa seguinte, pesquisem peças de teatro que tratam desse tema. Identifiquem as características do texto teatral, sua linguagem e sua estrutura, e analisem como personagens e cenários são representados, por exemplo. Livros, filmes e documentários também podem ajudar a inspirá-los a contar suas próprias histórias.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Produção de conteúdo

Agora que vocês já refletiram sobre o tema proposto e conheceram um pouco sobre textos teatrais, considerem a seguinte proposta para aplicar esse conhecimento e compartilhar sua experiência com a comunidade.

Produzam uma cena teatral para retratar como a inteligência artificial e os algoritmos estão presentes no dia a dia das pessoas e a influência que eles têm na tomada de decisões. Para dar início à produção, elaborem um texto teatral, um roteiro, com base em fatos e dados reais sobre inteligência artificial, considerando as vantagens e os desafios impostos por essa nova tecnologia. Destaquem os cuidados necessários para evitar manipulação de informações, preconceito algorítmico e outras situações desafiantes do ambiente virtual. O texto pode ser dividido em três partes: introdução (onde serão apresentados personagens e cenário), desenvolvimento (onde o tema principal e os conflitos relacionados a ele serão apresentados; as vantagens e os desafios impostos pela inteligência artificial, por exemplo) e o desfecho (a conclusão da ação). Definam os personagens que farão parte da narrativa e escrevam uma cena curta, de cerca de 5 minutos.

Combinem com o professor a apresentação da cena teatral para os colegas dos outros grupos. Com toda a turma, vocês podem organizar um evento para apresentar as cenas para a comunidade escolar.

Autoavaliação

Este espaço é destinado ao reconhecimento de seus pontos fortes e das oportunidades de aperfeiçoamento em seu processo de aprendizagem. Anote no caderno o nível de desempenho para cada critério listado a seguir. Combine previamente com o professor o que é esperado para os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante.

Os critérios adotados para essa proposta estão elencados a seguir.

- Aplicar técnicas de pesquisa para avaliar de forma crítica, nas mídias utilizadas, a confiabilidade das informações e dos conteúdos apresentados.
- Selecionar, organizar e resumir as informações coletadas.
- Aderir ao tema, com a seleção de textos e informações adequadas.
- Produzir uma cena teatral com função educativa e lúdica, com linguagem adequada, de forma ética, responsável e imparcial.

RESPOSTAS

Seguem as respostas das atividades de cálculo e de múltipla escolha. No Suplemento para o professor, você encontrará as resoluções e as orientações adicionais de todas as atividades.

CAPÍTULO 1

Aplique e registre

2. **a.** $\simeq 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km
b. $\simeq 9{,}5 \cdot 10^{15}$ m

3. $\simeq 5$ Mpc ou $\simeq 1{,}5 \cdot 10^{20}$ km

4. $\simeq 3{,}1 \cdot 10^{15}$ km

5. Alternativa **c**.

7. Alternativa **c**.

Atividades de fechamento

1. **a.** 1 ano-luz $\simeq 9{,}3 \cdot 10^{15}$ m
b. $\simeq 2{,}3 \cdot 10^{22}$ m

2. **a.** Para o menor valor da constante de Hubble: $t \simeq 19{,}1 \cdot 10^9$ anos; para o valor máximo da constante de Hubble: $t \simeq 9{,}5 \cdot 10^9$ anos.
b. O valor mais aceito atualmente para a idade do Universo é aproximadamente $13{,}8 \cdot 10^9$ anos; então, as idades têm a mesma ordem de grandeza.

3. Alternativa **c**.

4. Alternativa **d**.

5. Alternativa **c**.

6. **a.** $3 \cdot 10^7$ m/s. A intensidade da velocidade para que o tempo dilate apenas 0,5% é muito maior que as intensidades das velocidades dos objetos em nosso dia a dia.
b. 12,5 minutos

7. Alternativa **e**.

CAPÍTULO 2

Atividades de fechamento

1. 01 + 02 = 03

2. **a.** $\simeq 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ anos-luz
b. $\simeq 4{,}9 \cdot 10^{-6}$ parsec

3. $\simeq 500$ s ou $\simeq 8$ min 20 s

5. Alternativa **e**.

CAPÍTULO 3

Aplique e registre

2. **a.** 30 m/s
b. 300 m/s²

5. $\simeq 9.333$ km

6. **a.** 100 m; –20 m/s
b. 5,0 s
c. 2,0 s

8. **a.** 2,0 m/s²
b. 0,75 m

9. **a.** 288 km/h
b. 800 m

10. **a.** 0,8 s
b. 8,0 m/s

Atividades de fechamento

1. $\simeq 138$ m/s

2. **a.** 18,5 km/h
b. 0,5 m/s²

3. $\simeq 182$ s ou $\simeq 3$ min 2 s

4. 1,0 min

5. **a.** 20 s; 100 m

6. **a.** 6 km
b. 1,2 km

7. **a.** 8,0 s
b. 36,0 m

8. **a.** 432 km/h
b. 900 m

9. **a.** 0,4 s
b. 2,1 m/s²

10. **b.** Ambas têm valor 10,0 m/s.
c. 53,4 m

11. **a.** 3,0 m/s
b. 0,3 s

CAPÍTULO 4

Aplique e registre

3. Alternativa **d**.

4. **a.** 500 m
b. 0,50 m/s
c. 1,1 m/s

5. **a.** 5 m/s²
b. 13 m/s²

6. **a.** 3,0 m/s
b. 5,0 h

7. **a.** 30 min
b. 2,5 km

9. **a.** 0,8 s
b. $A_A = 1{,}6$ m; $A_B = 4{,}8$ m

10. 50 Hz

11. $\omega_s > \omega_m > \omega_h$

12. **a.** 1 min
b. 2 rad/s
c. 60 m/s²

13. $v_1 = v_2 = 60$ cm/s e $\omega_2 = 2$ rad/s

14. **a.** 72 rpm
b. $N_1 = 16$ voltas; $N_2 = 2$ voltas

Atividades de fechamento

1. **a.** 500 N
b. 2.500 N

3. **a.** 4,5 km/h
b. 2,5 km/h

4. **a.** $300\sqrt{3}$ kN

5. **a.** 7,5 s
b. 1,5 m/s

6. $v_A = 200$ km/h; $v_B = 0$; $v_C = 140$ km/h

7. **a.** 20 m
b. 32 m/s

8. Alternativa **c**.

9. **a.** $v_A = 151{,}2$ km/h; $v_B = 50{,}4$ km/h
b. 21,0 m/s²

10. Alternativa **d**.

CAPÍTULO 5

Atividades de fechamento

1. 150 N/m

2. Alternativa **c**.

3. Alternativa **d**.

4. Alternativa **a**.

5. **a.** $T = \frac{M \cdot g}{\cos \theta}$ e $a = g \cdot \operatorname{tg} \theta$

6. **a.** 8 kg
b. 48 N
c. 24 N

7. $r = 2$ m

8. Alternativa **d**.

9. **b.** 6,0 m/s

CAPÍTULO 6

Aplique e registre

1. 01 + 04 + 08 = 13

4. **a.** 120 J
b. –80 J
c. 40 J

6. 72%

7. **b.** $\simeq 33{,}3\%$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Atividades de fechamento

1. 25 m

2. 10 J

3. 800 J

4. Alternativa **c**.

5. $\tau_1 = \tau_3 = 0$; $\tau_2 = 300$ J; $\tau_4 = -250$ J

6. 225 J

7. **a.** 300 kJ
b. 5 kW

8. Alternativa **a**.

CAPÍTULO 7

Aplique e registre

2. 1,5 m

3. Alternativa **b**.

Atividades de fechamento

1. $\tau_E = \tau_R$; $Pot_E > Pot_R$

2. $\mu = 0{,}5$

3. **a.** 400 N **b.** 2 m/s

4. Alternativa **c**.

5. Alternativa **a**.

6. **a.** $1 \cdot 10^3$ J
b. 10 m/s

7. Alternativa **e**.

8. $v = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot x$

9. **a.** 6,0 m/s
b. $h = 1{,}8$ m

CAPÍTULO 8

Aplique e registre

3. **a.** 22,5 m **b.** 120 kN

4. 25 kN

5. 0,24 m/s

7. Alternativa **c**.

Atividades de fechamento

1. **a.** $1{,}2 \cdot 10^{-1}$ N · s
b. 40,0 m/s

2. $3{,}3 \cdot 10^6$ N · s

3. Alternativa **d**.

4. Alternativa **b**.

5. Alternativa **d**.

6. 6,0 m/s

7. Alternativa **b**.

8. **b.** 1,0 m

9. Alternativa **b**.

10. Alternativa **e**.

11. **a.** 52 cm/s
b. $\simeq 82\%$

CAPÍTULO 9

Aplique e registre

1. **I.** incorreta; **II.** correta; **III.** correta; **IV.** incorreta

4. $1{,}31 \cdot 10^{-26}$ N

5. Alternativa **a**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **a**.

2. Alternativa **c**.

3. **a.** $R_A = 9R$
b. $8R \leqslant d \leqslant 10R$

4. Alternativa **d**.

5. **a.** Distância: $4d$; intensidade da força de atração gravitacional: $\frac{f}{4}; \frac{f}{9}$

6. **a.** 2 dias
b. 2

7. **a.** 35,2 km/s
b. 844.800 km

8. **a.** 4,0 m/s²
b. 5,0 m

9. 27.720 km/h

CAPÍTULO 10

Aplique e registre

2. Alternativa **d**.

5. 300 N

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **d**.

3. Alternativa **b**.

4. 80 N

5. Alternativa **e**.

6. Alternativa **a**.

7. Alternativa **b**.

9. **a.** $F = 200$ N **b.** $F = 242$ N

10. $a = 0{,}5$ m/s²

11. $F_{potente} = 137{,}5$ N; $F_N = 487{,}5$ N

CAPÍTULO 11

Aplique e registre

7. **a.** $2{,}0 \cdot 10^5$ Pa **b.** $3{,}0 \cdot 10^5$ Pa

8. 90 cmHg

9. Alternativa **b**.

10. **a.** 5 N/cm²
b. $F = 1.000$ N
c. $y \simeq 1$ cm

11. 240 N

12. Diagrama III.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**.

2. $\simeq 1 \cdot 10^6$ Pa

3. **b.** Se o bombeiro tiver 75 kg e a área de contato for 1,5 m², a pressão será 500 N/m².

5. Alternativa **b**.

7. Alternativa **e**.

8. Alternativa **b**.

9. **a.** 40,0 N **b.** 2,5 g/cm³

10. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 12

Aplique e registre

2. **I.** correta; **II.** correta; **III.** incorreta; **IV.** incorreta

3. Alternativa **d**

4. 63,8 °C

6. Alternativa **b**.

Atividades de fechamento

2. Alternativa **b**.

3. Alternativa **d**.

4. **a.** $Pot = 240$ W
b. $E = 7{,}2$ kWh

5. Alternativa **c**.

6. Alternativa **b**.

7. Alternativa **c**.

8. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 13

Aplique e registre

1. **a.** 50 K
b. 20,012 m

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2. Alternativa **b**.

4. Alternativa **e**.

5. **I.** incorreta; **II.** correta; **III.** correta

6. $1{,}0 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

Atividades de fechamento

1. **a.** 1,0 mm
b. 5,0 cm^2

2. Alternativa **d**.

3. Alternativa **c**.

4. Alternativa **b**.

5. $h = 0{,}60$ m

6. Alternativa **c**.

7. **a.** $1{,}8 \cdot 10^{11}$ J
b. 42,5 °C
c. 14,3 cm

8. Alternativa **e**.

9. Alternativa **c**.

CAPÍTULO 14

Aplique e registre

3. –40 °C ou –40 °F

4. 70 K e 126 °F

6. Diminuirá 9,09%.

11. $V_2 = \frac{4}{3} \cdot V_1$

Atividades de fechamento

1. –328 °F ou $\simeq$ 73 K

2. 160 °C

3. 32 °C

4. Alternativa **e**.

5. Alternativa **d**.

6. Alternativa **a**.

7. Alternativa **e**.

8. **b.** $T_2 = 800$ K; $T_3 = T_1 = 400$ K

9. **a.** $n = 2{,}86$ mol
b. $m = 80$ g
c. $V = 12{,}2$ L

10. $V_2 = 18.430\ cm^3$

11. Alternativa **d**.

12. Alternativa **c**.

13. **a.** 13,2 kN
b. 63 °C
c. Aproximadamente 0,16 mol.

CAPÍTULO 15

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

2. 4.986 J

3. 600 J

4. $3{,}0 \cdot 10^5$ J

5. Elevará em 100 J. Elevará em 60 J.

6. 600 J

7. **b.** –17,5 J; sobre o gás.

8. **b.** $\tau = -2.000$ J e $\Delta U = -2.000$ J

9. Alternativa **c**.

10. **a.** 10 mols
b. 24,9 kJ
c. 65,25 kJ

11. Alternativa **a**.

12. Alternativa **b**.

13. **a.** 5,4 kJ
b. 22,1 kJ

CAPÍTULO 16

Aplique e registre

3. Alternativa **a**.

4. 200 J

5. **d.** 600 K

6. **b.** $T_c = 1.200$ K
c. 1,8 kJ; a variação de energia interna é nula.

9. 90%

11. **I.** incorreta; **II.** incorreta; **III.** correta; **IV.** incorreta; **V.** incorreta

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

2. **a.** 7,5
b. $9{,}0 \cdot 10^2$ J

3. Alternativa **d**.

4. Alternativa **e**.

5. Alternativa **e**.

6. **a.** 1.800 J
b. 4.200 J

7. Alternativa **e**.

8. **b.** $15pV$

9. Alternativa **b**.

CAPÍTULO 17

Aplique e registre

6. **a.** 3,0 m
b. $\frac{1}{3}$

8. Alternativa **c**.

10. $f = 25$ cm

Atividades de fechamento

1. **b.** 10,0 m

2. **a.** 200 cm (real, invertida e maior do que o objeto)
b. 120 cm (virtual, direita e maior do que o objeto)

3. $n_L \simeq 1{,}3$

4. $\alpha \simeq 64°$

5. Alternativa **e**.

6. 20 cm e 80 cm

7. Alternativa **a**.

CAPÍTULO 18

Aplique e registre

1. Alternativa **a**.

3. **I**, **II** e **III**.

4. **a.** $A = 0{,}40$ m; $\lambda = 1{,}60$ m
b. $f = 0{,}20$ Hz; $T = 5{,}0$ s

5. Alternativa **b**.

8. Alternativa **c**.

9. Alternativa **a**.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**.

2. Alternativa **a**.

3. Alternativa **c**.

4. Alternativa **b**.

5. Alternativa **a**.

6. Alternativa **c**.

7. **a.** $\lambda = 100$ m
b. $A = 15$ m

8. Alternativa **d**.

9. Alternativa **a**.

CAPÍTULO 19

Aplique e registre

3. Alternativa **d**.

6. Alternativa **b**.

7. 72 km/h

8. **a.** $\lambda_1 = 40$ cm; $\lambda_2 = 30$ cm
b. $\frac{f_1}{f_2} = \frac{3}{4}$

9. **a.** 5º harmônico

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

b. 0,8 m
c. 425 Hz

10. Alternativa **d**.

Atividades de fechamento

1. 89,5 dB

2. **a.** $\Delta t = 2{,}5$ s
b. $d = 425$ m

3. Alternativa **d**.

4. **a.** $v_{máx.} = 20$ m/s
b. $f_{D\,mín.} = 960$ Hz; $f_{D\,máx.} = 1.088$ Hz

5. **a.** 60 m/s
b. 100 Hz

6. Alternativa **a**.

8. **a.** $L = 0{,}50$ m $= 50$ cm
b. $v = 250$ m/s

CAPÍTULO 20

Aplique e registre

3. Radiação alfa $\left({}^{4}_{2}\alpha\right)$

6. **c.** 12,5%

7. 68 h

9. 2,5 g

10. Alternativa **c**.

Atividades de fechamento

3. ${}^{222}_{86}Rn$

4. **a.** $A = 4$; $Z = 2$; $N = 2$ e $M = 4{,}031882$ u
b. $A = 14$; $Z = 6$; $N = 8$ e $M = 14{,}112976$ u
c. $A = 235$; $Z = 92$; $N = 143$ e $M = 236{,}908487$ u

5. Após 1 ano: 0,5 =50%;
após 2 anos: 0,25 = 25%;
após 4 anos: 0,0625 = 6,25%.

6. Alternativa **c**.

8. Alternativa **a**.

9. Alternativa **d**.

10. **b.** Aproximadamente 6 horas.

11. **a.** $1{,}5 \cdot 10^{19}$ Hz

CAPÍTULO 21

Aplique e registre

2. Falta. $3{,}125 \cdot 10^{19}$ elétrons.

3. Alternativa **a**.

4. **a.** $\frac{1}{3}$ da intensidade original.
b. $\frac{8}{9}$ da intensidade original.

7. Intensidade: $6{,}0 \cdot 10^{-1}$ N.
Direção: norte-sul.
Sentido: sul-norte.

9. **a.** 0
b. 5 nJ

10. –10 J

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

3. **b.** $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ N

4. 81 N

5. 2,12 μC

6. $k \cdot \frac{q}{L^2} \cdot \sqrt{7}$

7. Alternativa **c**.

8. Alternativa **b**.

9. Alternativa **b**.

10. Alternativa **d**.

11. **a.** 80 V
b. $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ N
c. $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ J

CAPÍTULO 22

Aplique e registre

1. 0,2 A

2. **a.** 120 mA

5. **a.** 5,0 Ω
b. 2,4 A

9. 8,0 Ω

10. 12,0 μC; 9,0 μJ

13. 0,80 kWh

14. **b.** $\simeq 0{,}1$ A
c. $\simeq 3{,}6$ V

16. $\varepsilon' = 91$ V

Atividades de fechamento

1. **a.** $4{,}8 \cdot 10^{-14}$ C
b. $2{,}4 \cdot 10^{-11}$ A

2. Alternativa **c**.

3. $i_1 = 0{,}3$ A; $i_2 = 0{,}6$ A

4. Alternativa **a**.

5. **a.** 27,5 A
b. 8 Ω

6. Alternativa **a**.

7. **a.** 72,0 μC
b. 432,0 μJ

8. Alternativa **c**.

9. Alternativa **d**.

10. Alternativa **e**.

11. Alternativa **a**.

CAPÍTULO 23

Aplique e registre

2. $4 \cdot 10^{-5}$ T

9. $2 \cdot 10^{-3}$ N

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**.

2. Alternativa **e**.

3. Alternativa **b**.

4. Alternativa **a**.

5. $4{,}8 \cdot 10^{-2}$ T

7. 01 + 04 + 16 = 21

8. **a.** $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ Wb e $6{,}0 \cdot 10^{-5}$ Wb
b. $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ V
c. $6{,}0 \cdot 10^{-6}$ A

9. Alternativa **a**.

CAPÍTULO 24

Aplique e registre

6. Alternativa **c**.

Atividades de fechamento

1. $\simeq 2{,}9 \cdot 10^{30}$ fótons/s

2. Alternativa **d**.

3. **a.** $\simeq 9{,}3 \cdot 10^{-6}$ m

4. Alternativa **b**.

5. Alternativa **a**.

6. Alternativa **d**.

7. **a.** Apenas o fóton com energia 12,75 eV, que corresponde à variação de energia de $n = 1$ para $n = 4$.
b. Estado excitado, $n = 3$.
c. De $n = 4$ para $n = 1$: $\Delta E = 12{,}75$ eV; $f \simeq 3{,}1 \cdot 10^{15}$ Hz
De $n = 4$ para $n = 2$: $\Delta E = 2{,}55$ eV; $f \simeq 6{,}2 \cdot 10^{14}$ Hz
De $n = 4$ para $n = 3$: $\Delta E = 0{,}66$ eV; $f \simeq 1{,}6 \cdot 10^{14}$ Hz

8. 04 + 16 + 32 = 52

9. Alternativa **a**.

10. Alternativa **b**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

AKIYAMA, K. *et. al.* First M87 event horizon telescope results. IV. Imaging the central supermassive black hole. **The Astrophysical Journal Letters**, [*s. l.*], v. 875, L4, p. 1-52, Apr. 2019.

O artigo apresenta como foram processados os dados para a obtenção da primeira imagem ao redor de um buraco negro.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de Física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a08.pdf. Acesso em: 27 set. 2024.

O artigo aborda os aspectos e as estratégias do uso de simuladores computacionais no ensino de Física.

BOCZKO, R. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

O livro aborda conceitos básicos de Astronomia para introduzir o vocabulário, ideias e métodos usados nessa área.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2020.

Texto da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) vigente no Brasil.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.

Trata-se de um documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais para cada etapa da Educação Básica.

BRASIL. Ministério da Educação. **Normas sobre Computação na Educação Básica – Complemento à Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília, DF: MEC, 2022.

Documento complementar à BNCC que apresenta habilidades relacionadas à computação para a educação básica.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. **Estratégia Brasileira de Educação Midiática**. Brasília, DF: Secom, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/arquivos/2023_secom-spdigi_estrategia-brasileira-de-educacao-midiatica.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

O documento apresenta o conjunto de iniciativas desenvolvidas pelo Governo Federal voltadas à promoção da educação para as mídias da população brasileira.

CARROL, D. A.; OSTLIE, B. W. **An Introduction to Modern Astrophysics**. 2nd ed. New York: Pearson/Addison-Wesley, 2007.

O livro introduz conceitos da área de Astrofísica por meio de ferramentas matemáticas e conhecimentos básicos de Física.

CARVALHO, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Cengage Learning, 2004.

O livro é uma coletânea de pesquisas do Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física da Faculdade de Educação (FE) da Universidade de São Paulo (USP).

EDUCAMÍDIA. Educação Midiática e IA: glossário anotado. **Educamídia. Instituto Palavra Aberta**. Disponível em: https://educamidia.org.br/api/wp-content/uploads/2024/05/EMIA-Glossario-anotado-ISBN.pdf. Acesso em: 28 set. 2024.

A publicação apresenta um glossário de termos importantes para conversas sobre novas mídias e tecnologia.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. 21. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

O livro aborda os princípios e os conceitos da Física Quântica, incluindo as aplicações das propriedades da Mecânica Quântica nas demandas mundiais da ciência e da tecnologia.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics**. 2nd ed. New York: Addison Wesley, 2005. v. 1 and v. 3.

O livro reúne o conteúdo das aulas ministradas por Richard Feynman aos seus alunos, nos anos 1960, no Instituto de Tecnologia da Califórnia.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). **Física**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1999. v. 1, 2 e 3.

Os volumes desta coleção destacam a relevância prática dos assuntos de Física, apresentando exercícios e atividades práticas que envolvem situações do cotidiano.

GREINER, W.; NEISE, L.; STÖCKER, H. **Thermodynamics and Statistical Mechanics**. [*S. l.*]: Springer Science & Business Media, 2012.

O livro apresenta uma abordagem conceitual das leis da Termodinâmica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. A. B. Uma abordagem histórico-filosófica para o Eletromagnetismo no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [*s. l.*], v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6433. Acesso em: 27 set. 2024.

Estudo sobre a reflexão histórico-filosófica da primeira fase do Eletromagnetismo, de 1820 a 1832, destacando sua importância e aplicação no ensino de ciências.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. I, II e IV.

Os volumes I, II e IV da Coleção apresentam os fundamentos da Mecânica Clássica, da Gravitação, da Ondulatória, da Termodinâmica e da Física Moderna, permitindo a compreensão dos conceitos e das principais ideias sobre esses temas.

HERMAN, I. **Physics of the human body**. [*S. l.*]: Springer Science & Business Media, 2007.

O livro aborda conceitos e princípios básicos de Física, para a compreensão do funcionamento do corpo humano.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

O livro aborda conceitos e princípios básicos de Física contendo tópicos como a descrição física da natureza da luz, do momento de uma força, da Eletrostática e dos circuitos elétricos.

IPCC. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Mudança do clima 2023**: Relatório síntese. [*s. l.*]: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.

Tradução do relatório síntese do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.

IUPAP. **Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics**. 1987 Revision (2010 reprint). Disponível em: https://archive2.iupap.org/wp-content/uploads/2014/05/A4.pdf. Acesso em: 27 set. 2024.

O livro apresenta recomendações para símbolos, unidades, nomenclatura e constantes fundamentais, aprovados em conjunto com diversos órgãos em assembleias realizadas de 1948 a 1984.

INMETRO. Sistema Internacional de Unidades (SI). Tradução: Grupo de Trabalho Luso-Brasileiro do Inmetro e IPQ. Brasília, DF: Inmetro, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/si_versao_final.pdf. Acesso em: 29 set. 2024.

O documento detalha as unidades de medida padronizadas internacionalmente e apresenta recomendações para símbolos de grandezas físicas, nomenclatura e unidades de medida.

JACKSON, J. D. **Classical Electrodynamics**. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

O livro apresenta conceitos do Eletromagnetismo clássico, além de abordar a teoria da Relatividade restrita.

KARTTUNEN, H. *et al*. **Fundamental Astronomy**. [*S. l.*]: Springer-Verlag, 2003.

O livro aborda conceitos de Astronomia envolvendo observações, instrumentos, mecânica celeste, o Sistema Solar e a evolução de estrelas e galáxias.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, M. de F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

O livro trata de conceitos gerais de Astronomia com linguagem acessível.

KITTEL, C.; KNIGHT, W. D.; RUDERMAN, M. A. **Berkeley Physics Course**: Mechanics. 2nd ed. New York: Mc Graw-Hill, 1973. v. 1.

O livro apresenta conceitos de Física básica envolvendo noções de vetores, a apresentação das leis de Newton, referenciais e relatividade restrita.

LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 96th ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

Manual de referências bibliográficas que auxilia pesquisadores na utilização de dados e resultados científicos para a elaboração de textos com elevado padrão de confiabilidade. Compila dados de constantes, resultados experimentais e propriedades físicas e químicas.

LNLS (org.). **Projeto Sirius**: a nova fonte de luz síncrotron brasileira. Campinas: CNPEM Edição, 2014. Disponível em: https://lnls.cnpem.br/wp-content/uploads/2016/08/Livro-do-Projeto-Sirius-2014.pdf. Acesso em: 27 set. 2024.

O documento, elaborado por pesquisadores brasileiros, trata de assuntos relacionados ao acelerador de luz síncrotron brasileiro, Sirius, como as especificações de cada setor do acelerador e as aplicações em pesquisas científicas.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 15 out. 2024.

Página oficial dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas no Brasil.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. v. 1, 2 e 4.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esses volumes da coleção abordam os fundamentos básicos da Física, especialmente na área da Mecânica, da Física Térmica, da Termodinâmica, da Óptica, da Relatividade Restrita e da Física Quântica, permitindo a compreensão dos principais conceitos relacionados à área.

OKUNO, E. **Radiação**: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

O livro apresenta conceitos e princípios de Física, em especial de Física Nuclear e radiações, permitindo a compreensão dos riscos e dos benefícios do uso de radiação no cotidiano.

PIZA, A. F. R. de T. **Mecânica Quântica**. São Paulo: Edusp, 2003. (Acadêmica, 51).

O livro aborda os fundamentos da Mecânica Quântica.

RADI, H. A.; RASMUSSEN, J. O. **Principles of Physics**: for Scientists and Engineers. [*S. l.*]: Springer Science & Business Media, 2013.

O livro é uma compilação de notas de aula para a graduação em Física, com diversos tópicos, como calor e propriedades da matéria, permitindo, por meio de exemplos resolvidos e exercícios, a compreensão de conceitos e princípios físicos.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2015. v. 1, 2 e 3.

Os volumes da coleção apresentam conceitos e princípios básicos de Física, em especial das áreas da Mecânica Clássica e Relatividade, Oscilações, Ondas, Termodinâmica, Mecânica dos fluidos e Eletromagnetismo, abordando exemplos práticos para demonstrar o papel da Física em diversas áreas do conhecimento e suas aplicações em situações do cotidiano.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Physics for Scientists and Engineers**. 6th ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008. v. 1, 2 e 3.

A coleção aborda seis temas principais da Física: Mecânica, Ondulatória, Termodinâmica, Eletricidade e Magnetismo, Luz e Física Moderna. Todos dispõem de exemplos resolvidos, problemas conceituais e apontamentos de aplicações tecnológicas.

UNESCO. **Decifrar o código**: educação de meninas e mulheres em ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000264691. Acesso em: 28 set. 2024.

O documento discute políticas para igualdade de gênero em STEM.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. **Física**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. v. I, II e IV.

Os volumes da coleção abordam princípios e conceitos básicos de Mecânica, Termodinâmica, Ondas, Ótica e Física Moderna, elaborados de uma perspectiva conceitual e com exemplos de aplicações tecnológicas e/ou em outras áreas do conhecimento.

ZEMANSKY, M. W.; DITTMAN, R. H. **Heat and Thermodynamics**. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 1981.

O livro enfoca os conceitos de Calorimetria e Termodinâmica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUPLEMENTO PARA O PROFESSOR

Caro Professor,

A elaboração da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) trouxe mudanças significativas para toda a área educacional. Não somente o papel da escola e a atuação de professores e estudantes precisam ser ressignificados, mas também o material didático. O documento deixa explícita a necessidade de

> [...] superação da fragmentação radicalmente disciplinar do conhecimento, o estímulo à sua aplicação na vida real, a importância do contexto para dar sentido ao que se aprende e o protagonismo do estudante em sua aprendizagem e na construção de seu projeto de vida (BRASIL, 2018, p. 15).

Tendo em vista esse contexto, o novo Ensino Médio pretende atender às necessidades e às expectativas dos estudantes, fortalecendo seu interesse, seu engajamento e seu protagonismo e visando garantir sua permanência e sua aprendizagem na escola. Também busca assegurar o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores capazes de formar novas gerações aptas para lidar com desafios pessoais, profissionais, sociais, culturais e ambientais do presente e do futuro, considerando a intensidade e a velocidade das transformações que marcam as sociedades na contemporaneidade.

Assim, o estudo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias é indispensável na sociedade contemporânea em razão da influência que essas ciências exercem no cotidiano de todos. Os conhecimentos nessa área atuam em diferentes aspectos, que abrangem desde noções básicas sobre o funcionamento dos organismos e dos objetos até melhoria da qualidade de vida, manutenção do ambiente e geração de energia para todos. Portanto, compreender as mudanças geradas por influência da Ciência e da Tecnologia, refletir e agir mediante conhecimentos científicos adquiridos no decorrer da vida escolar são atitudes essenciais na formação de todos os estudantes brasileiros.

Desse modo, o ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, em todas as etapas da Educação Básica, necessita abordar conceitos, leis, teorias e modelos com foco no desenvolvimento de competências e habilidades, além de permitir que os estudantes compreendam, interpretem e apliquem os conhecimentos científicos na resolução de problemas individuais e coletivos em diferentes esferas da vida. Ou seja, ao mesmo tempo que o ensino se compromete com o letramento científico, ele deve estimular os estudantes a investigar, a analisar e a discutir as problemáticas que podem surgir de diferentes contextos socioculturais.

Com isso em mente, procuramos, neste Suplemento, apresentar a você, professor, as escolhas teórico-metodológicas que embasam a Coleção e, sobretudo, apoiá-lo no processo de mediação entre o conteúdo científico e as práticas cotidianas vivenciadas pelos estudantes. Buscamos também inspirar sua prática docente, viabilizando um diálogo constante entre as nossas propostas, as suas perspectivas pedagógicas e o contexto sociocultural dos estudantes. Como resultado dessa interação, as possibilidades sugeridas se multiplicam, pois, quando somadas às suas experiências e aos seus conhecimentos, elas poderão efetivamente contribuir para o ensino de Ciências mais significativo que todos almejamos.

Para facilitar a organização das informações, dividimos este Suplemento em Orientações gerais e Orientações específicas. Nas Orientações gerais: a) apresentamos a organização e a proposta da Coleção, explicando a estruturação dos volumes à luz dos pressupostos teórico-metodológicos que embasaram sua elaboração; b) destacamos como a Coleção se articula com esses referenciais, com a BNCC e seu material de apoio; c) exploramos sugestões de abordagem e de uso da Coleção, de acordo com algumas opções de estrutura do curso: bimestral, trimestral ou semestral. Nas Orientações específicas: a) apresentamos sugestões de organização do trabalho em sala de aula visando colaborar no planejamento, na condução e na avaliação do ensino; b) reforçamos nosso objetivo de estabelecer uma parceria valorizando seu conhecimento acerca da realidade da escola onde você e os estudantes estão inseridos.

Assim, caberá a você, professor, fazer as escolhas na busca por melhores caminhos para favorecer a aprendizagem dos educandos. Nossa função é oferecer subsídios para que siga a jornada educacional com apoio e confiança.

Conte conosco e bom trabalho!

Os Autores

SUMÁRIO

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO MP003

Formação geral básica para o Ensino Médio MP003

As competências específicas e as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias MP004

A BNCC e os Temas Contemporâneos Transversais MP006

Organização e proposta da Coleção MP007

Organização do Livro do estudante MP008

Organização do Suplemento para o professor MP009

Sugestões de uso da Coleção MP009

Pressupostos teóricos da Coleção MP010

Aspecto teórico-metodológico na perspectiva da alfabetização científica MP010

Contextualização e interdisciplinaridade no ensino de Ciências por meio da inter-relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade MP011

A argumentação na perspectiva da alfabetização científica MP012

A importância das práticas investigativas para a alfabetização científica MP012

O pensamento computacional e o ensino de Ciências da Natureza MP014

Alfabetização midiática: do acesso à criação de mídias MP015

A leitura inferencial como objeto de conhecimento MP016

O jovem do Ensino Médio como protagonista MP017

Ressignificando o papel do professor e sua prática pedagógica MP018

Metodologias ativas MP018

Avaliação a serviço da aprendizagem MP019

ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DO VOLUME MP021

O componente curricular Física MP021

UNIDADE 1 Universo, Terra e vida MP022

UNIDADE 2 Energia e sustentabilidade MP037

UNIDADE 3 Água e alimentos MP050

UNIDADE 4 Transformações e movimentos MP063

UNIDADE 5 Saúde humana MP075

UNIDADE 6 Mundo tecnológico MP087

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS MP098

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES COMENTADAS MP103

ORIENTAÇÕES GERAIS DA COLEÇÃO

Formação geral básica para o Ensino Médio

O novo Ensino Médio simboliza uma reforma que visa diminuir a evasão escolar e tornar a educação mais relevante e atrativa para os estudantes. Ela foi implementada com base na Lei nº 13.415/2017 e, após ampla consulta pública realizada ao longo de 2023, reestruturada pela Lei nº 14.945/2024. Conforme o Ministério da Educação, a aposta da reforma centra-se em

> [...] atender às necessidades e às expectativas dos jovens, fortalecendo o protagonismo juvenil na medida em que possibilita aos estudantes escolher o itinerário formativo no qual desejam aprofundar seus conhecimentos. Um currículo que contemple uma formação geral, orientada pela BNCC, e também itinerários formativos [...] contribuirá para maior interesse dos jovens em acessar a escola e, consequentemente, para sua permanência e melhoria dos resultados da aprendizagem.
>
> **Fonte:** BRASIL. Ministério da Educação. **Novo Ensino Médio – perguntas e respostas**. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/publicacoes-para-professores/30000-uncategorised/40361-novo-ensino-medio-duvidas. Acesso em: 3 set. 2024.

Para atender a essa nova perspectiva, a carga horária foi aumentada gradativamente de 800 para, no mínimo, 1.000 horas por ano letivo, totalizando 3.000 horas em todo o Ensino Médio. Até 2.400 horas são garantidas para a **formação geral básica**, com os conhecimentos previstos na BNCC, e o restante da jornada deve ser destinado aos **itinerários formativos**, que visam ao aprofundamento em ao menos uma das áreas de conhecimento ou à formação técnica e profissional, fomentando a escolha dos estudantes em sua trajetória escolar. Além disso, as disciplinas obrigatórias do Ensino Médio passaram a ser organizadas em quatro áreas do conhecimento, valorizando os conhecimentos de cada componente curricular com vistas ao fortalecimento das aprendizagens e à formação integral dos estudantes:

- Linguagens e suas Tecnologias (Língua Portuguesa, Língua Inglesa, Arte e Educação Física);
- Matemática e suas Tecnologias (Matemática);
- Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química);
- Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Geografia, História, Sociologia e Filosofia).

O Ensino Médio é a etapa da Educação Básica que busca o aprofundamento e a consolidação dos conhecimentos adquiridos ao longo do Ensino Fundamental, garantindo o desenvolvimento de competências necessárias para o trabalho e para o exercício da cidadania.

Esta Coleção busca oferecer a **formação geral básica** aos estudantes, por meio de competências e habilidades previstas pela BNCC para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, traduzindo as expectativas propostas por esse documento e atendendo às demandas contemporâneas do século XXI. Vale ressaltar que a BNCC é um documento normativo cujos propósitos são balizar a qualidade do ensino e das políticas educacionais no país e estabelecer direitos de aprendizagem e desenvolvimento comuns às diversas propostas curriculares e pedagógicas que compõem a Educação Básica no Brasil. Trata-se, portanto, da referência nacional obrigatória para embasar a elaboração de currículos e propostas pedagógicas das redes de ensino e escolas públicas e particulares do país com respeito à autonomia dessas instituições e redes.

A BNCC, organizada em competências e habilidades, direciona a formação integral dos estudantes em suas variadas dimensões – intelectual, afetiva, ética, física, cultural, sociopolítica –, levando-os a construir e compreender suas atuações em uma sociedade inclusiva e consciente. O documento apresenta **dez competências gerais** que orientam a Educação Básica e permitem o estabelecimento de um processo de continuidade com o Ensino Médio.

Competências gerais da Educação Básica

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.
4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.
5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, re-

Continua

solver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

6. Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.
7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.
8. Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.
9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.
10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

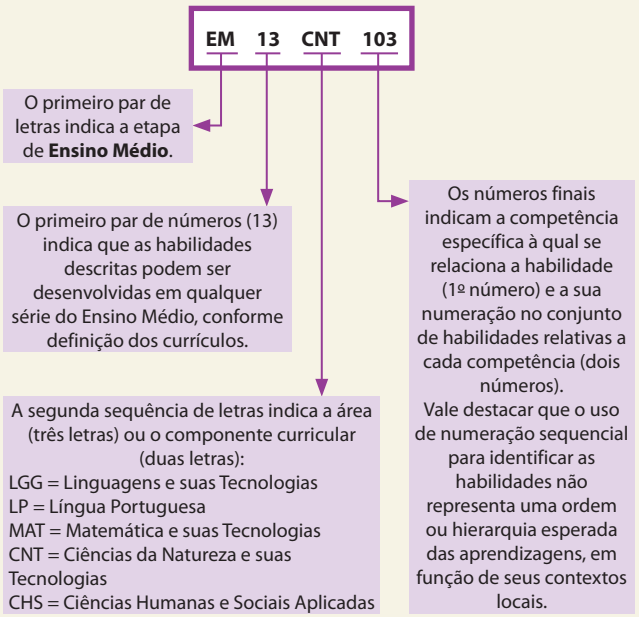
(BNCC, 2018, p. 9-10)

Vinculadas a essas competências, existem as competências específicas das diferentes áreas do conhecimento. E, por último, a BNCC traz as habilidades – agrupadas e vinculadas às competências específicas de área – que permitem definir as aprendizagens essenciais e expressar o **domínio conceitual e metodológico** a ser desenvolvido em cada área do conhecimento.

Especificamente, a proposta da BNCC para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na etapa do Ensino Médio apoia-se em: **ampliação** e **sistematização** das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental quanto aos conhecimentos conceituais da área relativos a Biologia, Física e Química; **contextualização** social, histórica e cultural da Ciência e da Tecnologia, considerando-as elementos da construção humana e, portanto, em constante transformação; **processos e práticas** da investigação científica, como identificação de problemas, formulação de hipóteses, identificação de variáveis, escolha de instrumentos e procedimentos para o teste de hipóteses, argumentação, análises quantitativa e qualitativa dos dados obtidos e conclusão acerca de fatos, fenômenos e problemáticas analisados; e **linguagens** aplicadas às Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como códigos, símbolos, nomenclaturas e gêneros textuais importantes na compreensão da Ciência e seus procedimentos.

As competências específicas e as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Cada competência específica está relacionada a um conjunto de habilidades, que representa aprendizagens essenciais a ser garantidas a todos os estudantes do Ensino Médio. Cada habilidade, além do texto geral que a define, tem um código alfanumérico, como o mostrado a seguir.



Seguem as competências específicas e as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio determinadas pela BNCC.

Competência específica 1

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

Continua

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.

Competência específica 2

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.

(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.

(EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.

(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

Competência específica 3

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

Continua

Continuação

(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.

(EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.

(EM13CNT310) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

(BNCC, 2018, p. 554-560)

A BNCC e os Temas Contemporâneos Transversais

Tendo em vista o atendimento de expectativas e demandas da geração jovem do Brasil, a BNCC destaca ainda a importância de uma abordagem integradora entre as diversas áreas do conhecimento mediante o enfoque de temas contemporâneos que afetam a vida humana em escalas local, regional e global, contextualizando aquilo que é ensinado (BRASIL, 2019):

> Os Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) buscam uma contextualização do que é ensinado, trazendo temas que sejam de interesse dos estudantes e de relevância para seu desenvolvimento como cidadão. O grande objetivo é que o estudante não termine sua educação formal tendo visto apenas conteúdos abstratos e descontextualizados, mas que também reconheça e aprenda sobre os temas que são relevantes para sua atuação na sociedade. Assim, espera-se que os TCTs permitam ao aluno entender melhor: como utilizar seu dinheiro, como cuidar de sua saúde, como usar as novas tecnologias digitais, como cuidar do planeta em que vive, como entender e respeitar aqueles que são diferentes e quais são seus direitos e deveres, assuntos que conferem aos TCTs o atributo da **contemporaneidade**.
>
> Já o **transversal** pode ser definido como aquilo que atravessa. [...] Os Temas Contemporâneos Transversais (TCTs) são assim denominados por não pertencerem a uma disciplina específica, mas por traspassarem e serem pertinentes a todas elas. Existem distintas concepções de como trabalhá-los na escola. Essa diversidade de abordagens é positiva na medida em que possa garantir a autonomia das redes de ensino e dos professores. [...] manteve-se a orientação de que os sistemas de ensino trabalhem esses temas de forma transversal, por meio de abordagens intra, inter e transdisciplinares. [...]
>
> [...] Esses pressupostos buscam contribuir para que a educação escolar se efetive como uma estratégia eficaz na construção da cidadania do estudante e da participação ativa da vida em sociedade, e não um fim em si mesmo, conferindo a esses conteúdos um significado maior e classificando-os de fato como *Temas Contemporâneos Transversais*.

Assim, a BNCC considera quinze TCTs: Educação ambiental; Educação para o consumo; Trabalho; Educação financeira; Educação fiscal; Saúde; Educação alimentar e nutricional; Vida familiar e social; Educação para o trânsito; Educação em direitos humanos; Direitos da criança e do adolescente; Processo de envelhecimento, respeito e valorização do idoso; Diversidade cultural; Educação para valorização do multiculturalismo nas matrizes históricas e culturais brasileiras; e Ciência e Tecnologia. Esses TCTs constituem um conteúdo indispensável para a Educação Básica por contribuírem para o desenvolvimento das competências gerais e das habilidades relacionadas aos componentes curriculares. Além disso, eles oferecem a possibilidade de trabalhar valores e conceitos ligados à cidadania, salientando a importância da contextualização das problemáticas fundamentais para a vida em sociedade. Os TCTs estão distribuídos em seis macroáreas temáticas – Meio ambiente; Economia; Saúde; Cidadania e civismo; Multiculturalismo; Ciência e Tecnologia – que interligam as diferentes áreas do conhecimento a temas vividos no cotidiano em sociedade.

Garantir o trabalho com os TCTs é também uma forma de dialogar com as juventudes que estão imersas no cotidiano das

escolas. A cultura juvenil é considerada pela BNCC elemento fundamental para pensar em propostas pedagógicas na etapa do Ensino Médio. É necessário reconhecer a juventude:

> […] como condição sócio-histórico-cultural de uma categoria de sujeitos que necessita ser considerada em suas múltiplas dimensões, com especificidades próprias que não estão restritas às dimensões biológica e etária, mas que se encontram articuladas com uma multiplicidade de atravessamentos sociais e culturais, produzindo múltiplas culturas juvenis ou muitas juventudes. (BRASIL, 2018, p. 462.)

Essa abordagem, que considera o conhecimento e a formação cultural dos jovens em suas respectivas realidades, motiva as escolas a atuar como espaços de expressão da diversidade juvenil. Nesse espaço, a contextualização da teoria com a prática, aliada a uma proposta de resolução de problemas, de estímulo à investigação, de incentivo à postura empreendedora, de acesso às bases científicas e tecnológicas e de interpretação da realidade, adquire um caráter de suporte para que os jovens se reconheçam, assumam as próprias potencialidades e vocações e compreendam seu papel como participantes ativos da sociedade na qual estão inseridos.

Desse modo, tanto a escola quanto o material didático precisam assumir um novo papel coerente com as recomendações da BNCC, valorizando a formação de estudantes protagonistas, com autonomia para construir o próprio processo de aprendizagem, e capazes de assumir responsabilidades, refletir, decidir e agir de forma ativa e independente, com base em ética e respeito pelas diversidades.

Ao favorecer o desenvolvimento do jovem protagonista, é necessário lembrar que os estudantes também são fontes de conhecimento e, por isso, a escola precisa oferecer tempo e espaço para que eles compartilhem vivências, experiências e conhecimentos prévios em sala de aula e, simultaneamente, possibilitar-lhes a aquisição de novos conhecimentos. Além disso, é preciso estimular nos estudantes a criatividade e a capacidade de construir pensamentos complexos, por meio dos quais um mesmo problema possa ser abordado de diferentes perspectivas, e favorecer o desenvolvimento de um ambiente compreensivo e colaborativo, onde os estudantes possam cooperar entre si para que o processo de aprendizagem admita efetivamente o exercício de autonomia individual e cooperativa.

Organização e proposta da Coleção

Vários foram os aspectos que nortearam a organização e a seleção do conteúdo, de atividades e propostas de discussão para a Coleção, dentre eles destacam-se a BNCC e seu material de apoio e as pesquisas sobre culturas juvenis. Além dessas inspirações, é importante mencionar a relevância dos assuntos da vida cotidiana, suscitados pelos TCTs, e a abordagem dos diferentes campos das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Dessa forma, a Coleção articula-se ao referencial curricular nacional e pode ser considerada motivadora e significativa para os estudantes do Ensino Médio.

O diálogo entre a obra e a BNCC permeia toda a Coleção, tanto no âmbito do desenvolvimento das dez competências gerais estabelecidas pelo referencial curricular quanto nas especificidades da área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, criando oportunidades de mobilização de todas as competências específicas e respectivas habilidades.

Por ter caráter nacional e inspirada na BNCC, a obra traz abordagens inovadoras e tópicos conceituais contemporâneos, propondo a investigação da realidade e das características culturais, naturais, éticas e sociais locais, possibilitando uma problematização articulada às diferentes especificidades educacionais e buscando dialogar com os currículos propostos pelas redes de ensino.

Esta Coleção também busca contemplar as demandas, as motivações e as formas de participação social do jovem no século XXI em diferentes ocasiões. Segundo Jesús Martín-Barbero (BORELLI; FREIRE FILHO, 2008, p. 22), os jovens são "sujeitos íntima e estruturalmente mediados por suas interações pela e com a tecnologia". Na mesma publicação, que se tornou uma referência sobre as culturas juvenis, destaca-se uma notável pluralidade de objetos e de abordagens das práticas culturais da chamada "condição jovem". Por meio de análises de aspectos do circuito de produção e apropriação cultural juvenil, reconhecem-se as complexidades, os dilemas e as riquezas dessa faixa etária, exploram-se temas característicos – como a música, o grafite, o audiovisual, a internet e os dispositivos digitais – e articulam-se modos de pertencimento e incertezas.

Nessa perspectiva, visando atender ao que preconizam a BNCC e os TCTs e às culturas juvenis, a obra foi organizada em três volumes independentes, cada um referente a um componente curricular da área Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Biologia, Física e Química). Além disso, cada volume é composto de seis unidades, que se repetem nos três volumes: 1. Universo, Terra e vida; 2. Energia e sustentabilidade; 3. Água e alimentos; 4. Transformações e movimentos; 5. Saúde humana; e 6. Mundo tecnológico. Cada unidade explora aspectos da área partindo de uma temática significativa à sua aplicação e à interferência efetiva na sociedade. A integração entre Biologia, Física e Química articulada a temáticas atuais e relevantes possibilita um movimento de organização e maior troca entre os professores especialistas, embora ainda permita as contribuições de cada especialidade separadamente. Essa integração não se limita à área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, pois a Coleção traz elementos para articular com outras áreas do conhecimento, propiciando abordagens integradoras e oportunidades para trocas de experiências ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

Com base nessas escolhas, espera-se que o estudo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ocorra por meio da contextualização e de atividades colaborativas com viés investigativo, o que permitirá ao estudante dominar diferentes linguagens e situar-se como agente capaz de elaborar propostas de intervenção em sua realidade. De acordo com Silva (2007, p. 10),

> […] A contextualização no ensino vem sendo defendida por diversos educadores, pesquisadores e grupos ligados à educação como um "meio" de possibilitar ao aluno uma educação para a cidadania concomitante à aprendizagem significativa de conteúdos. Assim a contextualização se apresenta como um modo de ensinar conceitos das ciências ligados à vivência dos alunos, seja ela pensada como recurso pedagógico ou como princípio norteador do processo de ensino. A contextualização como princípio norteador caracteriza-se pelas relações estabelecidas entre o que o aluno sabe sobre o contexto a ser estudado e os conteúdos específicos que servem de explicações e entendimento desse contexto, utilizando-se da estratégia de conhecer as ideias prévias do aluno sobre o contexto e os conteúdos em estudo […].

Os conteúdos tradicionalmente trabalhados no Ensino Médio foram revistos, selecionados e reorganizados para atender às competências e às habilidades da BNCC para essa etapa do

ensino, às relações com os TCTs e às necessidades das temáticas escolhidas, além de estabelecer conexões entre conceitos próprios das Ciências da Natureza e suas Tecnologias e destes com diferentes áreas do conhecimento, tendo a temática central da unidade como eixo. As temáticas trabalhadas na Coleção potencializam, em seu conjunto, o desenvolvimento das competências gerais e específicas da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, preconizadas pela BNCC.

No desenvolvimento do conteúdo, buscou-se levar em consideração a progressão e o aprofundamento em relação ao conteúdo abordado na etapa do Ensino Fundamental (anos iniciais e finais), que foi considerado pré-requisito na seleção do conteúdo abordado nas temáticas propostas.

Ao longo de cada unidade da Coleção, procura-se relacionar e integrar os componentes curriculares de Ciências da Natureza e suas Tecnologias entre si e com outras áreas do conhecimento. Essa articulação colabora para que não sejam estabelecidos limites rígidos entre os componentes curriculares de Ciências da Natureza e suas Tecnologias nem entre as áreas do conhecimento, favorecendo essa percepção mais integrada pelos estudantes.

Organização do Livro do estudante

Na página inicial da **Abertura** de cada unidade, é apresentada uma imagem ou uma composição de imagens acompanhada de um breve texto em linguagem familiar ao estudante. Juntos, texto e imagem se articulam e apresentam a temática proposta, cuja abordagem pode integrar diferentes áreas do conhecimento. A atividade de leitura da imagem tem importante papel motivador, estimulando e aproximando o estudante do assunto que será abordado.

A **Abertura** traz ainda a seção **Pense nisso!**, que propõe questões que buscam fazer o estudante estabelecer relações, com apoio do texto e da imagem, entre o que ele já sabe e o que ainda será estudado, possibilitando-lhe exteriorizar seu conhecimento e, ainda, refletir sobre as concepções dos colegas. As atividades de levantamento de conhecimento prévio foram desenvolvidas considerando as habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias da etapa do Ensino Fundamental definidas pela BNCC. Esse momento é uma oportunidade para o professor de realizar a avaliação diagnóstica das concepções iniciais da turma.

Para organizar e sistematizar o conteúdo, cada unidade é subdividida em quatro capítulos. Neles, as informações são agrupadas em subtítulos e algumas palavras são destacadas para identificar os conceitos principais, o que facilita a leitura e a compreensão do texto pelo estudante. A presença de imagens, como fotografias, ilustrações, gráficos e mapas, visa esclarecer e exemplificar o conteúdo específico.

Além do texto expositivo, as unidades abrigam algumas seções cujos objetivos são: a complementação de informação (**Fique por dentro**), o trabalho com leitura inferencial, argumentação, pensamento crítico e integração com outras áreas do conhecimento (**Em foco**), o contato com procedimentos próprios do fazer científico (**Na prática**), a relação do conteúdo com culturas e vivências juvenis (**Trabalho e juventudes**), o passo a passo para resolução de uma atividade (**Atividade comentada**) e a realização de atividades sobre o conteúdo de cada capítulo (**Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**). O material conta ainda com o boxe **Glossário**, que apresenta explicações de termos que possam ser desconhecidos pelos estudantes.

Ampliações do conteúdo e novas relações também podem ser construídas além da sala de aula com o auxílio das indicações de *sites*, filmes e simuladores, entre outros recursos, na seção **Fique por dentro**. Cada indicação é acompanhada de breve resenha e pode ser compreendida como mais um estímulo à busca autônoma de conhecimentos.

As seções **Em foco** ocorrem pelo menos uma vez por unidade. Elas trazem textos autorais ou de terceiros acompanhados de atividades que conduzem o estudante a integrar o conteúdo estudado com outras áreas do conhecimento e a exercitar a leitura inferencial, a argumentação, o pensamento crítico, a comunicação e aspectos da educação midiática.

As atividades da seção **Na prática** são diversificadas, em grupo e privilegiam o protagonismo dos estudantes. Elas incluem experimentações, situações-problema, estudos de caso e montagens de modelos, entre outras propostas. Em relação às experimentações, elas podem ser desenvolvidas em laboratório ou, se a escola não dispuser de um, em espaços adequados na própria sala de aula, com os devidos cuidados adicionais. Em nenhuma das atividades práticas sugeridas são empregadas substâncias com potencial tóxico. Informações sobre normas de segurança, regras para preparo e realização das atividades, periculosidade de determinada substância ou material e descarte de resíduos são inseridas na própria atividade e nas Orientações específicas deste Suplemento.

Nesta Coleção, procurou-se priorizar atividades práticas que vão além da mera comprovação de fatos e informações predeterminados e que favoreçam a compreensão das relações conceituais das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, permitindo que os estudantes manipulem objetos e assimilem significados entre si e com o professor durante a aula, e propiciando uma oportunidade aos sujeitos de extrair de suas ações as consequências que lhes são próprias e aprender com os erros tanto quanto com os acertos. Há oportunidades para que os estudantes realizem observações, reúnam resultados, troquem ideias com os colegas e proponham conclusões antes de a teoria relacionada ser abordada, proporcionando a vivência das práticas e dos procedimentos científicos e, portanto, favorecendo o desenvolvimento da **competência específica 3** de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Explorando mais profundamente a relação de algum tema com culturas juvenis, a seção **Trabalho e juventudes** permite aos estudantes que, em grupos, mobilizem os próprios saberes e vivências culturais e os relacionem com o conteúdo estudado. Nesse processo, eles são estimulados a refletir e tomar decisões diante de uma série de fatores, como o projeto de vida, o mundo do trabalho, o exercício da cidadania e o reconhecimento da diversidade humana e o respeito por ela.

Cada unidade contém ainda uma seção **Atividade comentada**, que aborda uma estratégia de resolução do problema proposto em alguma atividade autoral ou de vestibular/Enem. Para isso, é apresentado um passo a passo que se apoia nos pilares do pensamento computacional.

Em todos os capítulos há seções **Aplique e registre**, com atividades que possibilitam ao estudante aplicar e registrar os conhecimentos adquiridos ao longo do estudo do conteúdo. Com isso, ele pode acompanhar e avaliar o próprio desempenho. Essas seções podem, ainda, contribuir para o planejamento de recomposição de aprendizagens e para o processo de avaliação processual ou formativa.

Cada capítulo termina com a seção **Atividades de fechamento**, que propõe um conjunto diversificado de atividades para avaliação do processo de aprendizagem do estudante. Essa seção apresenta questões que abordam os assuntos trabalhados no capítulo, de modo complementar às questões da seção **Aplique e registre**. Há tanto questões autorais como aquelas provenientes do Enem e dos principais exames vestibulares do país, possibilitando o desenvolvimento de diferentes habilidades e competências pelo corpo discente.

As questões em si empregam diversas linguagens (gráficos, tabelas, textos citados, tirinhas etc.) e apresentam diferentes níveis cognitivos, tanto de baixa ordem, como entender e aplicar, quanto de alta ordem, como analisar, avaliar e criar, de acordo com a taxonomia de Bloom (ANDERSON; KRATHWOHL, 2001). A escolha das atividades e o momento para sua realização devem ser avaliados pelo professor, considerando a realidade dos estudantes em sala de aula e as individualidades no processo de aprendizagem.

Ao final do último capítulo da unidade, encontra-se o quadro **Reflita sobre seu aprendizado!**, que oferece ao estudante a oportunidade de autoavaliar a aprendizagem do conteúdo desenvolvido na unidade, buscando identificar os aspectos que ainda precisam ser mais bem trabalhados. Mais do que a mera reflexão, é importante incentivar o estudante a registrar suas considerações e a compartilhá-las com os colegas e o professor, buscando estabelecer estratégias para resolução das lacunas de compreensão. Esse momento, além de propiciar o desenvolvimento de autonomia e protagonismo do estudante em relação à própria aprendizagem, pode ser entendido como uma das muitas possibilidades de avaliação continuada que fornecem subsídios à prática docente.

Cada unidade é encerrada com uma seção **Educação midiática**, que se apoia em algum tema abordado ao longo da unidade para desenvolver uma atividade relativa à alfabetização midiática e informacional (AMI). Para isso, parte-se da relação de um conteúdo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias com o universo midiático-informacional para, então, aprofundar conceitos de AMI e conceber um produto de mídia específico pautado no uso responsável, democrático, ético e crítico dos meios de comunicação. Aspectos da educação midiática também são trabalhados em algumas atividades das seções **Em Foco**, **Na prática** e **Atividades de fechamento**.

Nas páginas finais de cada volume, são apresentadas as respostas das atividades de múltipla escolha e as respostas de atividades que requerem cálculo. Para você, professor, apresentamos neste Suplemento as resoluções comentadas de todas as atividades das unidades.

Organização do Suplemento para o professor

Este Suplemento para o professor está organizado de modo que ofereça subsídios para o melhor uso da Coleção por meio de ferramentas, instruções e atividades que gerem melhoria na qualidade do processo de ensino-aprendizagem e contribuam com seu aprimoramento didático-pedagógico.

As Orientações gerais deste Suplemento exploram a proposta didático-pedagógica da Coleção e descrevem a organização do Livro do estudante e do Suplemento para o professor. Essa seção enfatiza a importância de atividades investigativas no ensino da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, apresenta e discute diferentes metodologias de ensino e explora diversas formas, possibilidades, recursos e instrumentos de avaliação que poderão ser utilizados ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

No início das Orientações específicas por unidade são apresentados: breve exposição da relevância das temáticas tratadas, contextualizando e justificando os conteúdos específicos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que serão trabalhados na unidade e dando significado ao processo de aprendizagem; considerações sobre o texto e a imagem da Abertura; e respostas e comentários referentes às questões da seção **Pense nisso!** da Abertura.

Para cada capítulo, as Orientações específicas contemplam um texto que introduz os temas abordados e os seguintes tópicos: *Objetivos de aprendizagem*; *Por dentro da BNCC*, que apresenta a relação de competências gerais e habilidades, tanto da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias quanto das demais áreas do conhecimento, e dos TCTs mobilizados; *Sugestões didáticas*, com orientações e encaminhamentos sobre o conteúdo e as seções, comentários sobre como competências e habilidades da BNCC e TCTs estão contemplados, sugestões de abordagem interdisciplinar e indicação de estratégias que promovam o protagonismo discente e dinâmicas variadas em sala de aula; *Atividades complementares*, com o intuito de ampliar as opções didáticas; e *Resoluções e comentários*, que dialogam com o professor prevendo situações que podem surgir em sala de aula, discutindo caminhos para mediar as atividades e apresentando respostas esperadas e comentadas. Há ainda, sugestões de referências suplementares, como indicações de simuladores *on-line* e leituras adicionais voltadas para a área de educação em Ciências da Natureza e suas Tecnologias, visando apoiar o trabalho com o conteúdo e as atividades propostas no Livro do estudante.

Ao final da unidade, em **Reflita sobre seu aprendizado!** é possível encontrar orientações sobre esta proposta de autoavaliação. São fornecidos também os comentários e respostas para as propostas de **Educação midiática**.

As **Atividades de fechamento** apresentadas em cada capítulo podem ser usadas como propostas de avaliação na verificação da aprendizagem dos estudantes para os principais conteúdos trabalhados.

Sugestões de uso da Coleção

No centro das mudanças do novo Ensino Médio, estão a ampliação do tempo mínimo de permanência do estudante na escola e a definição de uma nova organização curricular, mais flexível, que contempla a BNCC (formação geral básica) e oferece possibilidades de escolha aos estudantes, os itinerários formativos, com foco nas áreas de conhecimento e na formação técnica e profissional.

A flexibilização curricular demanda um material didático também flexível, que permita e apoie a implementação das mudanças e dos diversos arranjos curriculares. Nesse contexto, esta Coleção pode ser considerada um dos instrumentos de um projeto pedagógico nessa nova perspectiva, auxiliando no desenvolvimento de competências e habilidades preconizadas pela BNCC e tão necessárias aos jovens.

Cabe aos professores de Biologia, Química e Física, orientados pela coordenação pedagógica, estabelecer, nos respectivos volumes da Coleção, a ordenação dos conteúdos mais adequada e relevante para o projeto pedagógico da escola e o currículo do estado em que atua. Essa ordenação deverá levar em conta alguns aspectos, que abrangem desde características mais amplas, como a provável mudança na carga horária destinada às diferentes áreas do conhecimento, até aspectos mais particulares, como as diferenças de rendimento de uma turma para outra. Saber transitar por essas particularidades faz parte da excelência de um professor.

Pensando em um modo de auxiliar o trabalho dos professores na organização e em sua prática, apresentamos sugestões de abordagem e uso da obra, de acordo com algumas opções de estruturação de curso:

Unidades	Capítulos	Bimestres	Trimestres	Semestres
1. Universo, Terra e vida	1	1º	1º	1º
	2			
	3	2º		
	4		2º	
2. Energia e sustentabilidade	5	3º		2º
	6			
	7	4º	3º	
	8			
3. Água e alimentos	9	5º	4º	3º
	10			
	11	6º		
	12		5º	
4. Transformações e movimentos	13	7º		4º
	14			
	15	8º	6º	
	16			
5. Saúde humana	17	9º	7º	5º
	18			
	19	10º		
	20		8º	
6. Mundo tecnológico	21	11º		6º
	22			
	23	12º	9º	
	24			

As sugestões de uso da obra também admitem ordenação variada das unidades e dos capítulos. Essa ordenação deve ser adaptada de acordo com o projeto pedagógico da escola, o currículo regional e as características do grupo discente.

Pressupostos teóricos da Coleção

Esta Coleção assume os princípios norteadores preconizados pela BNCC considerando as especificidades da juventude atual. A obra é centrada na alfabetização científica e midiática por meio da abordagem da inter-relação entre a Ciência, a tecnologia e a sociedade para permitir o desenvolvimento de aspectos da prática científica, da argumentação, da leitura inferencial e do pensamento crítico, baseados em fatos e informações confiáveis, obtidos em referências científicas (livros e artigos acadêmicos), universidades, órgãos governamentais, institutos de pesquisa e organizações internacionais (ONU, OMS e Unesco, por exemplo).

A Coleção objetiva ser um instrumento para fortalecer a formação intelectual do estudante, além de promover a reflexão sobre ações individuais e coletivas dos jovens, que resultem em propostas para minimizar os problemas contemporâneos e para interagir de forma ativa na sociedade, exercendo a cidadania.

Buscamos aprofundar elementos teórico-práticos para dialogar com você, professor, sobre o papel desta Coleção no contexto da alfabetização científica e midiática no ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Aspecto teórico-metodológico na perspectiva da alfabetização científica

Os avanços científicos e tecnológicos são uma realidade atual e trazem implicações positivas e negativas para a sociedade. Diante desse contexto, a democratização do acesso ao conhecimento científico ocupa espaço fundamental na vida das pessoas, levando-as a compreender as questões científico-tecnológicas que as rodeiam e a intervir de modo responsável nas decisões que afetam o próprio meio. Nesse sentido, o desafio do ensino de Ciências é a formação dos estudantes em uma perspectiva de alfabetizá-los cientificamente.

Responder a esse desafio, em primeiro lugar, é resgatar a função social da educação em Ciências: formar para a cidadania. Esse conceito de cidadania está vinculado à concepção de democracia e à participação do indivíduo na sociedade (SANTOS; SCHNETZLER, 2010). Essa formação, portanto, implica fornecer aos estudantes subsídios para que possam "ampliar sua compreensão sobre a vida, o nosso planeta e o universo, bem como sua capacidade de refletir, argumentar, propor soluções e enfrentar desafios pessoais e coletivos, locais e globais" (BRASIL, 2018, p. 472).

Quando se resgata a educação científica comprometida com a cidadania, a alfabetização científica assume o papel de superar a reprodução de conceitos científicos destituídos de significados e de sentidos e levar em consideração a natureza do conhecimento científico e os impactos da Ciência e da Tecnologia na vida das pessoas. Para isso, os conteúdos específicos dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias são apresentados em uma abordagem interdisciplinar e contextualizada, contemplando, portanto, as interações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Sasseron (2015) identifica, com base em análises de estudos internacionais, três eixos estruturantes da alfabetização científica, que foram considerados na idealização e construção desta obra:

- compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais – a importância deles reside na necessidade exigida na sociedade de compreender conceitos-chave a fim de entender as informações e as situações do dia a dia;
- compreensão da Natureza da Ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática – no cotidiano, sempre nos defrontamos com informações e conjuntos de novas circunstâncias que nos exigem reflexões e análises considerando o contexto. Tendo em mente a forma como as investigações científicas são realizadas, podemos encontrar subsídios para o exame de problemas do dia a dia que envolvem conceitos científicos ou conhecimentos advindos deles;
- entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente – reconhecimento de que quase todo evento da vida de alguém tem sido influenciado, de alguma maneira, pelas ciências e tecnologias. Tendo em mente o desejo de um futuro saudável e sustentável para a sociedade e o planeta.

Esses eixos da alfabetização científica estão permeados nesta obra. Os temas foram selecionados considerando essa articulação. As seções elaboradas também buscam promover os três eixos. A seção **Na prática** envolve os eixos "compreensão básica de termos e conceitos científicos" e "compreensão da natureza da Ciência e dos fatores que influenciam sua prática". Já a **Abertura** da unidade e as seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e **Educação midiática** envolvem principalmente o "entendimento das relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente".

Articulados a esse tripé da alfabetização científica, Trivelato e Silva (2011) ressaltam que, para o processo de ensino-aprendizagem em Ciências da Natureza e suas Tecnologias, é necessário que o professor:

- reconheça a existência de concepções espontâneas (conhecimentos prévios) dos estudantes para vários conceitos que são trabalhados na escola;
- entenda que o processo de aprendizagem requer construção e reconstrução de conhecimentos;
- aproxime a aprendizagem de Ciências das características do trabalho científico, em que o estudante tenha possibilidade de propor questões, formular hipóteses, argumentar, buscar evidências, realizar investigações etc.;
- proponha a aprendizagem por meio de situações-problema relacionadas ao contexto sociocultural do estudante;
- reconheça o caráter social da construção do conhecimento científico;
- entenda o pluralismo que envolve o processo de ensino e aprendizagem em Ciências explorando diferentes metodologias.

Esses elementos também são incorporados na Coleção com o objetivo de auxiliar o professor nessa tarefa, trazendo questões para levantamento de conhecimentos prévios, situações-problema, relação entre Ciência e sociedade, autoavaliação do estudante e pluralismo de possibilidades metodológicas.

De modo geral, atendendo às recomendações dos documentos oficiais para a Educação Básica e inspirada nas pesquisas da área de ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a obra se pauta em elementos que buscam contribuir com a formação do estudante na perspectiva da alfabetização científica, por meio da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), como um caminho viável à formação dos cidadãos.

Contextualização e interdisciplinaridade no ensino de Ciências por meio da inter-relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade

A contextualização no ensino de Ciências não se limita a abordar determinados conceitos com base em temas do cotidiano dos estudantes, mas traça paralelos entre o cotidiano deles, permeado por conhecimentos de senso comum, e os conhecimentos científicos, a fim de que esses conhecimentos possam dialogar entre si e fazer sentido para os estudantes (LINSINGEN, 2010). Além disso, muitos estudos preconizam que a apropriação de conhecimentos científicos pelo estudante tenha como pano de fundo a sua participação crítica nas questões sociais, políticas, econômicas e ambientais que permeiam a sociedade atual. Santos e Schnetzler (2010) sinalizam a importância da participação dos estudantes como sujeitos inseridos no meio natural (âmbito científico), no meio artificialmente construído (âmbito tecnológico) e no meio social (âmbito social), de modo que tenham condições de avaliar e participar das decisões que interferem no próprio contexto. Dessa forma, o ensino de Ciências, com vistas à participação social, possibilita a formação cidadã dos jovens, favorecendo o amadurecimento de uma sociedade mais democrática.

Pensar o ensino de Ciências em uma perspectiva cidadã é pensar para além dos conhecimentos específicos isolados, sendo necessário articular esses conhecimentos com os aspectos da inter-relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Essa inter-relação é a base que vai constituir a educação CTS, defendida por pesquisadores da área de ensino de Ciências.

Auler (2007) aponta alguns objetivos importantes da educação CTS: desenvolver a capacidade e o interesse dos estudantes em relacionar Ciência com aspectos tecnológicos e sociais; discutir as implicações sociais e éticas relacionadas ao uso da Ciência-Tecnologia (CT); possibilitar melhor compreensão da natureza da Ciência; formar cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados para capacitá-los a tomar decisões; desenvolver o pensamento crítico e a independência intelectual dos estudantes.

Buscando atender aos objetivos de uma educação CTS, Santos (2007) destaca a importância da contextualização com base em temas sociais e situações reais que, transversalmente, estejam articulados aos conceitos científicos. Nesse intento, entendemos que pensar a elaboração de materiais didáticos por meio da abordagem de temas relativos à sociedade é acreditar que assuntos, como saúde, alimentação e agricultura, recursos energéticos, indústria e tecnologia, ambiente, transferência de informação e tecnologia, ética e responsabilidade social, favorecem a assimilação, pelo estudante, dos processos biológicos, químicos e físicos envolvidos. Favorecem ainda e o debate sobre aplicações tecnológicas relacionadas ao tema, levando os estudantes à compreensão dos efeitos das tecnologias na sociedade, na melhoria da qualidade de vida das pessoas e nas suas decorrências ambientais.

Há, ainda, temáticas que envolvem questões controversas da Ciência, que podem favorecer uma discussão em sala de aula sobre diferentes pontos de vista baseados em argumentações coletivamente construídas. São temas que, além das questões sociais e políticas, englobam a ética e a moral, sendo chamadas de questões sociocientíficas (QSC). As QSC têm características controversas centradas na relação entre as inovações da Ciência e Tecnologia e seus impactos sociais. Em consonância, Silva (2016) afirma que "a riqueza em se abordar as QSC no contexto do ensino de Ciências está justamente em seu potencial problematizador e na valorização do pensar diferente. Não há uma resposta que seja correta.".

Embasadas nessas discussões, as unidades da Coleção são abordadas por meio de uma organização do conteúdo que permite o trabalho integrado entre conceitos científicos e temas de relevância social. Com isso, busca-se oferecer um conhecimento que seja significativo para professores, estudantes, família e comunidade. Atribuir sentido a esses conhecimentos é possibilitar aos indivíduos o exercício da cidadania.

A abordagem CTS representa ainda uma forma de promover o ensino interdisciplinar, como apontam Silveira, Santos e Chrispino (2019, p. 168), quando afirmam:

> Sabemos que CTS é um campo acadêmico interdisciplinar na sua essência e formado por diversas correntes de pensamentos unidos para divulgar os fatores humanos envolvidos no contexto científico-tecnológico. No ensino de Ciências, as abordagens das relações CTS aparecem como uma forma de trabalho interdisciplinar, trazendo novas possibilidades para a formação do cidadão consciente de suas ações.

Corroborando esse contexto, Bazzo, Linsingen e Pereira (2003, p. 125) afirmam:

> Os estudos CTS definem hoje um campo de trabalho recente e heterogêneo, ainda que bem consolidado, de caráter crítico a respeito da tradicional imagem essencialista da Ciência e da tecnologia, e de caráter interdisciplinar por convergirem nele disciplinas como a Filosofia e a História da Ciência e da tecnologia, a Sociologia do conhecimento científico, a teoria da educação e a Economia da mudança técnica. Os estudos CTS

> buscam compreender a dimensão social da Ciência e da tecnologia, tanto desde o ponto de vista dos seus antecedentes sociais como de suas consequências sociais e ambientais, ou seja, tanto no que diz respeito aos fatores de natureza social, política ou econômica que modulam a mudança científico-tecnológica, como pelo que concerne às repercussões éticas, ambientais ou culturais dessa mudança.

A questão que surge é saber como a interdisciplinaridade se apresenta no âmbito da abordagem CTS. Partimos da ideia da que o conceito de interdisciplinaridade não é uma nova proposta pedagógica (POMBO, 2003). Tampouco há um consenso sobre esse conceito, tendo em vista a existência de várias definições, isto é, a interdisciplinaridade se apresenta como um conceito polissêmico (FEISTEL; MAESTRELLI, 2009).

Ao tratar da diversidade de ideias e definições do conceito de interdisciplinaridade, Lima e colaboradores (2018, p. 26) mencionam:

> Apesar de inúmeros enfoques concedidos ao termo interdisciplinaridade, por diversos teóricos, a compreensão parece ser comum a todos. Entretanto, essa compreensão está na necessidade de integrar os significados na construção desses saberes e perceber que eles se relacionam nesse conjunto de ideias. [...]

Nessa multiplicidade de definições, a Coleção se aproxima da definição proposta por Fazenda (2011, p. 34), que destaca que a interdisciplinaridade consiste essencialmente:

> [...] num trabalho em comum tendo em vista a interação das disciplinas científicas, de seus conceitos e diretrizes, de suas metodologias, de seus procedimentos, de seus dados e da organização de seu ensino.

Nesse sentido, a interdisciplinaridade envolve a colaboração e a reciprocidade entre os diferentes campos do saber, permitindo trabalhar os conteúdos com base em um ensino mais sistêmico que ajude os estudantes a pensar na totalidade de saberes e nos aspectos sociais e culturais envolvidos em sua produção.

Com base na abordagem CTS, portanto, a obra favorece o despertar de um olhar crítico dos estudantes, contribuindo para o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão perante situações reais e baseada em diferentes questões problematizadas na obra. A **Abertura** das unidades, por exemplo, possibilita a abordagem CTS e seu conteúdo fornece subsídios para que os estudantes compreendam a problemática, identifiquem e estabeleçam relações interdiciplinares e façam conexões com a sua realidade e atuem nela.

As temáticas selecionadas para a Coleção evidenciam as complexas relações entre CTS e articulam-se ao processo de ensino-aprendizagem para a superação de problemas das abordagens pedagógicas tradicionais, fragmentadas e tecnicistas na educação científica e tecnológica. Essas temáticas trazem a complexidade das questões contemporâneas relacionadas ao campo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias de forma contextualizada interdisciplinar, prática e aplicada. As seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e algumas atividades da seção **Atividades de fechamento**, particularmente, buscam transpor a temática trabalhada na unidade em questão para a realidade do estudante e incentivar a troca de ideias e a proposição de intervenção; por meio delas, o professor pode fazer articulações dos temas propostos com algumas questões sociocientíficas que emergem de alguns temas, promovendo a reflexão, a discussão e a argumentação dos estudantes.

A abordagem CTS contemplada na Coleção vai ao encontro da função social do ensino recomendada por pesquisadores da área de ensino de Ciências e dos documentos oficiais da Educação Básica, contribuindo, assim, para a formação da autonomia crítica do estudante e para sua participação no processo democrático de tomada de decisão.

A argumentação na perspectiva da alfabetização científica

A argumentação é reconhecida como uma competência essencial no ensino de Ciências, uma vez que emerge como uma prática central da atividade científica. Segundo Sasseron (2015), a argumentação em aulas de Ciências engloba mais do que apenas características linguísticas na forma de enunciar ideias; ela é um processo de avaliação de enunciados, análise de possibilidades, refinamento de explicações e justificativas. A argumentação, portanto, pode ser considerada um ato discursivo plural pelo qual um indivíduo, ou grupo de pessoas, busca evidenciar determinado fenômeno, por meio da emissão de alegações, que devem ser amparadas por justificativas e outros elementos, conferindo-lhes validade perante determinada audiência (FERRAZ; SASSERON, 2017).

Em um artigo de revisão sobre a argumentação em situações de ensino, Erduran (*in* ERDURAN *et al.*, 2007) destaca potenciais contribuições da argumentação no processo de ensino-aprendizagem, como o desenvolvimento de habilidades comunicativas e do pensamento crítico e a colaboração da alfabetização científica. Assim, percebe-se que a competência argumentativa é um instrumento essencial para a mediação de conflitos e o pensamento crítico, habilidades desejáveis no mundo do trabalho e para a construção de consensos necessários para a vida em sociedade.

Nesse cenário, o desenvolvimento da competência de argumentação pelos estudantes é fundamental para auxiliá-los na passagem do senso comum para o saber científico, ou seja, constitui um meio de realização da alfabetização científica (PEZARINI; MACIEL, 2018). O propósito da prática argumentativa no ensino de Ciências, portanto, está na promoção de um processo de ensino-aprendizagem que, de fato, contribua para a formação cidadã, subsidiando a construção do conhecimento científico e da alfabetização científica.

Nesse contexto em que se almeja o desenvolvimento da prática argumentativa, o papel do professor é fundamental para gerar e gerenciar as interações discursivas entre os estudantes e para estabelecer um espaço interativo de argumentação colaborativa (BERLAND; HAMMER, 2012). Essa mediação pode ser incrementada por meio da utilização de perguntas, cujo objetivo é melhorar e avançar nas atividades argumentativas (MACHADO; SASSERON, 2012).

Ancorada nos pressupostos da alfabetização científica, a Coleção também propicia oportunidades para a prática argumentativa. Em vários momentos, busca-se contribuir com a construção de argumentos pelo estudante, a análise da estrutura e da qualidade de argumentos produzidos em diferentes contextos, a avaliação da credibilidade das informações recebidas e a tomada de decisões justificadas e fundamentadas com base em evidências.

A importância das práticas investigativas para a alfabetização científica

As aulas práticas e investigativas no ensino de Ciências têm importância indiscutível. Algumas principais funções das aulas práticas reconhecidas na literatura do ensino de Ciências sintetizadas por Myriam Krasilchik (2004) são:

- despertar e manter o interesse;
- envolver-se em investigações científicas;
- desenvolver a capacidade de resolver problemas;
- compreender conceitos básicos;
- formular, elaborar métodos para investigar e resolver problemas individualmente ou em grupo;
- analisar cuidadosamente resultados e significados de pesquisas, voltando a investigar caso ocorram contradições conceituais;
- compreender as limitações do uso de um pequeno número de observações para gerar conhecimento científico;
- distinguir observação de inferência, comparar crenças pessoais com compreensão científica e compreender as funções que estas exercem na Ciência;
- compreender como são elaboradas e testadas hipóteses e teorias.

Embora reconheçamos a existência de fatores limitantes para a proposição de aulas práticas na Educação Básica, como ausência de laboratório, indisponibilidade de tempo para preparação, falta de equipamentos etc., algumas atividades práticas propostas nesta Coleção são suficientes para proporcionar o contato direto com fenômenos, identificar questões de investigação, organizar e interpretar dados, entre outras finalidades. Nas Orientações específicas deste Suplemento, há exemplos de práticas investigativas complementares que podem ser propostas pelo professor.

É fundamental que o professor esteja atento às ações e às aprendizagens dos estudantes para identificar se eles realmente estão vivenciando uma experiência investigativa. Sasseron e Carvalho (2008) apresentam um conjunto de indicadores que podem ser utilizados pelo professor para acompanhar a interação dos estudantes com as atividades práticas, tendo a função de mostrar algumas destrezas que devem ser trabalhadas quando se deseja colocar a alfabetização científica em processo de construção entre os estudantes, particularmente em práticas investigativas. Esses indicadores são algumas competências próprias das Ciências e do fazer científico e estão organizados em três grupos:

1º grupo – incorpora as ações desempenhadas nas tarefas de **organizar**, **classificar** e **seriar** os dados obtidos em uma investigação;

2º grupo – engloba dimensões relacionadas à estruturação do pensamento. São dois os indicadores desse grupo: o **raciocínio lógico** compreende como as ideias são desenvolvidas e apresentadas e a relação direta entre elas e a exposição do pensamento; e o **raciocínio proporcional** ilustra a interdependência que pode existir entre as variáveis;

3º grupo – mais diretamente associados à procura do entendimento da situação analisada, os indicadores deste grupo devem surgir em etapas finais das discussões, uma vez que se caracterizam pelo trabalho com as variáveis envolvidas no fenômeno e a busca por relações capazes de descrever as situações para aquele contexto e outros semelhantes. Fazem parte deste grupo os seguintes indicadores da alfabetização científica: **levantamento de hipótese**, **teste de hipótese**, **justificativa**, **previsão** e **explicação**.

É importante que o professor investigue durante os diálogos, as atividades práticas e outros momentos da prática pedagógica se esses elementos estão presentes. Em caso negativo, é preciso reforçar a necessidade do uso deles durante momentos de reflexão coletiva e na condução de novas práticas. Alguns questionamentos que podem direcioná-los são: "Os estudantes estão levantando e testando hipóteses?", "Apresentam diálogos que permitem verificar um raciocínio lógico e proporcional entre as variáveis encontradas?", "Justificam as conclusões com base nos dados?", "Executam as tarefas de organizar e seriar os dados?".

O professor deve estar atento aos procedimentos na preparação de atividades experimentais. Nesta obra, as atividades são pensadas de maneira que os estudantes não sejam expostos a riscos físicos; o cuidado em requerer materiais de baixo custo também foi uma preocupação na Coleção. Além da segurança, há precaução com o fator ambiental, indicando-se sempre a maneira correta de descarte. Também não são propostas atividades de aulas práticas com manipulação, dissecção, coleta e vivissecção de animais, tendo em vista que elas somente são permitidas em instituições de Ensino Superior ou instituições de Ensino Médio Técnico na área Biomédica e que tenham Comitê de Ética e Pesquisa com uso de animais (Ceua) regulamentado (ver legislação disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11794.htm e https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=77042. Acessos em: 14 set. 2024).

Em algumas propostas de atividades práticas apresentadas na Coleção, busca-se levar os estudantes a refletir sobre problemas específicos (como os de caráter experimental) que podem ser resolvidos ou minimizados, desafiando-os a pensar cientificamente.

> [...] Utilizar experimentos como ponto de partida, para desenvolver a compreensão de conceitos, é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações. (CARVALHO *et al.*, 1999)

Com isso, cria-se um ambiente intelectualmente ativo, pois o exercício do pensamento científico possibilita a aplicação posterior dessa habilidade também em diferentes aspectos da vida e na construção da visão de Ciência, Tecnologia, Sociedade e ambiente.

As aulas com práticas de investigação podem ser abordadas em forma de aulas práticas experimentais, construção de modelos, simulações e trabalhos de campo.

Carvalho (2006) classifica a atuação do professor e dos estudantes em diferentes níveis de envolvimento com uma atividade investigativa e propõe uma graduação para estudar o que chama de grau de liberdade que os professores oferecem aos estudantes.

Graus de liberdade do professor (P) e do aluno (A) em aulas práticas

	GRAU I	GRAU II	GRAU III	GRAU IV	GRAU V
PROBLEMA	P	P	P	P	A/P
HIPÓTESES	P	P/A	P/A	P/A	A
PLANO DE TRABALHO	P	P/A	A/P	A	A
OBTENÇÃO DE DADOS	P	A/P	A	A	A
CONCLUSÃO	P	A/P/ CLASSE	A/P/ CLASSE	A/P/ CLASSE	A/P/ SOCIEDADE

No grau I, somente o professor participa da aula prática enquanto os estudantes apenas assistem a ela e assumem um papel passivo.

A partir do grau II, é possível encontrar diferentes enfoques de acordo com o nível de participação dos estudantes. Nesse nível de liberdade, o professor propõe o problema, enquanto a elaboração de hipóteses e o plano de trabalho são realizados pelos estudantes, ainda que sob a orientação do professor. O registro dos dados é realizado pelos estudantes sob a orientação do professor, e a conclusão pode ser elaborada pelos estudantes, mas apresentada e discutida por toda a turma, ressaltando a necessidade da divulgação do conhecimento, assim como ocorre na Ciência.

Já no grau III, o professor apresenta um problema e constrói hipóteses com os estudantes, mas cabe a estes, em grupos, pensar em planos de trabalho para coletar os dados. Eles podem discutir com o professor, mas permanecem autônomos para o processo de obtenção dos dados, que pode então ser realizado de diversas formas. No fim, os dados levantados e o processo adotado são apresentados para a turma.

O grau IV se diferencia do anterior pelo fato de o plano de trabalho para testar hipóteses ser feito inteiramente pelos estudantes, exigindo habilidades de planejamento, organização, classificação e seriação. No final, o detalhamento do plano e os dados obtidos com ele são apresentados para a turma e para o professor.

O grau de liberdade V é o nível mais avançado. O professor motiva os estudantes, geralmente em grupos, a pensar e elaborar questões-problema com base na realidade. Uma vez definida a questão a ser investigada, caberá ao grupo elaborar uma hipótese e um plano de trabalho, organizando e realizando o processo de obtenção dos dados, que deverão ser apresentados, ao final, ao professor, à turma e à sociedade, por exemplo, por meio de feiras de Ciências. Esse grau de liberdade conta com o professor como facilitador e orientador e é mais apropriado para as etapas finais do Ensino Médio ou até para o Ensino Superior.

É recomendável proporcionar diferentes graus de liberdade nas práticas investigativas no Ensino Médio. O professor pode utilizar esse quadro para se inspirar, considerando adaptações no formato das atividades práticas já propostas no Livro do estudante, dependendo da maturidade da turma e das condições de ensino.

Algumas atividades propostas na seção **Na prática** podem ser classificadas como de grau II, pois são estruturadas e fornecem o procedimento a ser conduzido. Elas deixam para os estudantes tarefas como o levantamento de hipóteses, a análise e a discussão de dados e a elaboração de conclusões.

Se a turma já tiver vivenciado outras atividades investigativas e desenvolvido certa maturidade em relação a essas práticas, é possível adaptar as atividades do Livro do estudante, tornando-as de grau III e IV. Pode-se, por exemplo, apresentar apenas a questão-problema, deixando a cargo do corpo discente o levantamento de hipóteses e o desenho experimental adequado para resolver o problema com base no conteúdo conceitual estudado, exercendo habilidades de seriação de etapas, raciocínio lógico e resolução de problemas. A possibilidade da vivência de diferentes graus ajuda a criar novos desafios para que os estudantes passem da manipulação para a discussão, a argumentação, os registros, a organização das apresentações e a relação com o conteúdo teórico da unidade, exercitando assim o protagonismo.

O professor assume papel fundamental nesse processo ao propor novos problemas, acompanhar as discussões, promover novas oportunidades de reflexão, motivar, desafiar e estimular a argumentação. Desse modo, ele se torna um orientador da aprendizagem dos estudantes, auxiliando-os na articulação entre o senso comum e o saber científico. Na abordagem integrada das diferentes Ciências da Natureza, o professor também tem o papel de problematizar com os estudantes a articulação das diferentes ciências na produção de conhecimento.

Segurança nas atividades práticas

Seja em um laboratório equipado, seja na sala de aula, as atividades práticas representam situações que podem envolver riscos – à integridade física e à saúde das pessoas, de forma direta ou indireta, ao ambiente. Nesta Coleção, oferecemos maneiras de minimizá-los: eliminamos reagentes tóxicos, adequamos materiais e procedimentos e reduzimos as quantidades envolvidas. Outra medida fundamental é o uso de avental (ou jaleco) e óculos de segurança em todas as atividades. Ainda que esses equipamentos possam parecer, à primeira vista, dispensáveis, o uso constante colabora para a construção de uma cultura de segurança no laboratório. Os estudantes devem ter pleno domínio do trabalho a ser executado; para isso, oriente-os a revisar todo o procedimento antes de executá-lo, evitando ações mecânicas e irrefletidas.

No Livro do estudante, a orientação sobre segurança é reforçada nos quadros *Atenção*, sobretudo na seção **Na prática**.

O pensamento computacional e o ensino de Ciências da Natureza

Pensamento computacional é uma estratégia de como pensar e desenvolver resoluções para um problema. De fato, a técnica leva inclusive à elaboração de soluções que não são únicas para o problema em questão e que também podem ser aplicadas a outros problemas parecidos. O conceito de pensamento computacional pode ser aplicado em qualquer área do conhecimento e provavelmente é utilizado de forma inconsciente por muitas pessoas no dia a dia. No entanto, estar consciente dessa estratégia é benéfico por permitir consistentemente o enfrentamento de problemas grandes e complexos e a obtenção de boas soluções.

No artigo "Pensamento computacional – Um conjunto de atitudes e habilidades que todos, não só cientistas da computação, ficaram ansiosos para aprender e usar", escrito por Jeannette Wing e publicado em 2006 (p. 1-10), a autora dá alguns exemplos da presença de elementos do pensamento computacional no cotidiano:

> Quando sua filha vai para a escola pela manhã, ela coloca em sua mala as coisas que precisará para o dia – isso é *prefatching* e *caching*. Quando seu filho perde suas luvas, você sugere que ele refaça seus passos – isso é *backtracking*. Em que ponto você para de alugar esquis e compra seu próprio? – isso são *algoritmos on-line*. Em qual fila do mercado você fica? – isso é *modelagem de performance para sistemas multisservidores*. Por que seu telefone continua funcionando mesmo com falta de energia? – isso é *independência de falha* e *redundância de projeto*.

Para Wing (2011 *apud* ANDRÉ, 2018), favorecer o pensamento computacional tem como principal função formar pessoas capazes não apenas de identificar as informações, mas principalmente de produzir artefatos com base na compreensão de conceitos e utilizá-los para enfrentar desafios e refletir sobre seu cotidiano. André (2018) também traz outro pressuposto importante relacionado ao pensamento computacional: fazer com que estudantes e professores desenvolvam a competência de pesquisar, isto é, de aprender de forma independente e

autônoma sobre um tema ou um procedimento que não conhecem, usando *sites*, bibliotecas e ambientes virtuais, ao mesmo tempo que discutem com outros indivíduos os resultados encontrados. Dessa forma, o pensamento computacional se alinha aos processos e às práticas científicas, sendo também considerado um meio para alcançar a alfabetização científica.

O pensamento computacional pode ser aplicado na análise e na resolução de problemas por meio de quatro pilares:

- **Decomposição:** consiste em dividir um problema em problemas menores e mais simples, para facilitar sua compreensão e resolução. Assim, um problema complexo pode ser resolvido em partes menores, com estratégias e abordagens diversas, facilitando o planejamento de recursos, esforços e tempo necessários para solucioná-lo.
- **Reconhecimento de padrões:** ocorre ao identificar similaridades entre problemas, para que a mesma estratégia possa ser replicada, agilizando a resolução.
- **Abstração:** ocorre ao analisar e classificar os dados de um problema, selecionando as informações relevantes à resolução e descartando os dados desnecessárias.
- **Algoritmo:** sequência ordenada de passos para realizar uma tarefa ou conjunto de instruções que leva à solução de um problema. Os algoritmos permitem resolver problemas de forma sistemática e, às vezes, são usados para automatizar as soluções.

Dessa maneira, o pensamento computacional permite lidar com problemas complexos e variados, além de criar estratégias que podem ser aplicadas a outros tipos de problema de mesma natureza fazendo pequenos ajustes. Vale destacar que, dependendo do problema, nem todos os pilares serão necessários na resolução.

Segundo André (2018, p. 105),

> Nas atividades propostas na escola consideramos sempre que a melhoria da aprendizagem dos alunos passa pelo pensamento computacional. Devemos então considerar atividades práticas como situações que possibilitem aprendizagem significativa dando condições para que os alunos possam:
>
> - formular questões acerca de sua realidade e dos fenômenos que vivenciam;
> - elaborar hipóteses sobre essa realidade e esses fenômenos e testá-las, orientando-se por procedimentos planejados;
> - interagir com seus colegas em um ambiente coletivo e propício ao debate de ideias e ao desenvolvimento da capacidade de argumentação através do confronto de suas opiniões.

Segundo esse autor, o pensamento computacional pode ser aplicado a uma imensa gama de artefatos, incluindo: sistemas, processos, objetos, algoritmos, problemas, soluções, abstrações e coleções de dados ou informações.

O planejamento de uma ampla série de atividades desta Coleção pretendeu possibilitar situações cognitivamente desafiadoras para os estudantes, valorizando suas ideias iniciais e as representações sobre os temas propostos.

Nos últimos anos, as concepções a respeito do pensamento computacional passaram por profundas modificações que permitiram aproximar essa proposta ao dia a dia do estudante, ou seja, ao seu mundo real, tornando-a cada vez mais presente e concreta.

Diversas atividades propostas nesta Coleção buscam desenvolver o pensamento computacional por meio de diferentes processos cognitivos (analisar, compreender, definir, comparar etc.). A seção **Atividade comentada**, como estratégia de estudo, explora de forma sistemática alguns pilares do pensamento computacional. A seção **Na prática** e algumas **Atividades de fechamento** também possibilitam a aplicação dos pilares na busca de soluções.

Alfabetização midiática: do acesso à criação de mídias

Além de explorar linguagens, conteúdos conceituais, práticas investigativas e relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, a BNCC destaca o reconhecimento das potencialidades das tecnologias digitais para o ensino, as práticas sociais e o mundo do trabalho. Desse modo, nas diferentes áreas, são definidas competências e habilidades que permitem aos estudantes:

> - **buscar dados e informações** de forma crítica nas diferentes mídias, inclusive as sociais, **analisando as vantagens** do uso e da evolução da tecnologia na sociedade atual, como também seus riscos potenciais;
> - apropriar-se das **linguagens da cultura digital**, dos novos letramentos e dos multiletramentos para explorar e produzir conteúdos em diversas mídias, ampliando as possibilidades de acesso à Ciência, à tecnologia, à cultura e ao trabalho;
> - **usar diversas ferramentas** de *softwares* e aplicativos para compreender e **produzir conteúdos em diversas mídias**, simular fenômenos e processos das diferentes áreas do conhecimento, e elaborar e explorar diversos registros de representação matemática; e
> - **utilizar, propor e/ou implementar soluções** (processos e produtos) envolvendo diferentes tecnologias, para identificar, analisar, modelar e solucionar problemas complexos em diversas áreas da vida cotidiana, explorando de forma efetiva o **raciocínio lógico, o pensamento computacional, o espírito de investigação e a criatividade**.
>
> (BRASIL. 2018, p. 472)

O surgimento das mídias digitais interativas, como as redes sociais, os buscadores e outras plataformas colaborativas, marca a origem da *Web* 2.0, que caracteriza o alto grau de interatividade, colaboração, produção, uso e consumo de conteúdo pelos próprios usuários (MARTINO, 2014). Inicialmente, o acesso à internet estava restrito aos computadores de mesa, que foram dando espaço para os *notebooks* até chegar o tempo dos *smartphones*. Vivemos, então, em um mundo no qual as mídias parecem ser onipresentes (ARROIO, 2017), mas nem sempre todas as suas potencialidades são utilizadas em contextos escolares.

O fato de a realidade digital ser extremamente dinâmica exige constantes processos de formação e atualização. Diante disso, esta Coleção e este Suplemento buscam apresentar possibilidades aos professores e aos estudantes para superar eventuais barreiras no uso das tecnologias digitais. Os professores devem construir uma relação de parceria e trocas com os estudantes nessas circunstâncias, pois, como a maioria dos jovens atuais nasceu em um contexto em que essas tecnologias já estavam presentes, eles próprios podem trazer novas ideias para uso e produção.

As propostas da BNCC sobre o uso de mídias e tecnologias se articulam com o documento **Alfabetização midiática e informacional: diretrizes para a formulação de políticas**

e estratégias, publicado em 2011 pela Unesco (WILSON *et al*., 2013). De acordo com os autores desse documento, a alfabetização midiática e informacional (AMI) relaciona-se diretamente com o usufruto do direito à liberdade de expressão. Seguindo essa perspectiva de alfabetização midiática, Klosterman, Sadler e Brown (2012) pesquisaram o uso dos meios de comunicação de massa na resolução de problemas socio-científicos em escolas estadunidenses. Nessa investigação, os autores se basearam nos fundamentos da alfabetização midiática e adaptaram categorias, conforme o emprego dado à mídia por professor e estudantes ao longo das atividades. As categorias de uso de mídia propostas foram:

- acesso – acessar fontes de mídia e indicar possibilidades de recontextualização na escola;
- análise – determinar o autor da mídia, o público-alvo, a intencionalidade das mensagens e dos conteúdos veiculados;
- avaliação – julgar o valor da fonte em termos de acurácia, conteúdo científico, credibilidade, adequação, relevância e usabilidade;
- criação – elaboração de mídias impressas e audiovisuais na escola.

Os autores definem que essas quatro categorias são igualmente importantes nas práticas educativas, mas a categoria com maior demanda cognitiva é a criação. Um professor que planeja promover abordagens de criação de mídia com os estudantes permite que eles aprendam por meio da exploração e da ação, além de lhes possibilitar liberar a criatividade e se expressar por meio das próprias vozes, ideias e perspectivas (WILSON *et al.*, 2013).

Com base nesses pressupostos, o trabalho com mídias perpassa esta obra e busca explorar as quatro categorias estabelecidas por Klosterman, Sadler e Brown (2012) por meio de determinadas atividades das seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e **Atividades de fechamento** e, sobretudo, pela seção **Educação midiática**. Essas atividades trazem propostas de criação e divulgação de materiais relevantes ao contexto local e regional dos estudantes e, em sua maioria, demandam o uso de diferentes tecnologias de informação e comunicação (TICs).

As propostas da seção **Educação midiática**, em particular, demandam estudos de artefatos de mídia, o que inclui, por exemplo, a **identificação** e a **análise** de suas características, pesquisa adicional sobre aspectos desses artefatos e **avaliação** da qualidade das fontes de informação. Não raro, os artefatos a serem avaliados necessitam do acesso às respectivas fontes de mídia.

A integração de práticas de alfabetização midiática e de alfabetização científica no ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias pode estimular o pensamento crítico, com base no conteúdo trabalhado, e a potencialidade de melhoria de ações na sociedade. Com isso, processos de liberdade de expressão e justiça social são fortalecidos, empoderando estudantes e professores para desenvolver mensagens e protagonismo por meio de produções midiáticas apoiadas no pensamento científico, em fontes seguras e em ações fundamentadas no conhecimento.

A leitura inferencial como objeto de conhecimento

Fazer leitura inferencial significa construir sentido com o texto, deduzir informações com base nele e nos conhecimentos prévios do leitor. Solé (1998) define o ato de ler como:

> Ler é compreender e que compreender é sobretudo um processo de construção de significados sobre o texto que pretendemos compreender. É um processo que envolve ativamente o leitor, à medida que a compreensão que realiza não deriva da recitação do conteúdo em questão. Por isso, é imprescindível o leitor encontrar sentido no fato de efetuar o esforço cognitivo que pressupõe a leitura, e para isso tem de conhecer o que vai ler e para que fará isso.

Leitura inferencial é, portanto, um processo mental que requer competências:

- interpretativas: o leitor faz generalizações, prevê fenômenos e faz suposições acerca do conteúdo;
- dedutivas: o leitor lê nas entrelinhas, conecta ideias do texto para obter conclusões que não estão diretamente expressas no texto.

A indicação da leitura inferencial nos componentes curriculares que compõem a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias justifica-se, principalmente, pela **competência geral 2** definida pela BNCC – **Pensamento científico, crítico e criativo** –, com base na qual se espera que o estudante precise

> [...] exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2018).

Para extrair inferências de um texto, é importante ter em conta os seguintes passos:

- identificar as ideias principais no texto;
- efetuar suposições em torno das ideias implícitas no texto com base nas existentes;
- reler para constatar a inferência feita (a informação que valida a inferência se converte em sua fundamentação correspondente).

Com base no trabalho de Vargas (2012), esta Coleção busca apresentar uma diversidade de tipos de abordagem para o trabalho com textos, explorando aspectos linguístico-discursivos cruciais para a construção da leitura e exigindo um trabalho cognitivo e de interação dos conhecimentos dos estudantes com os textos; nesse processo, os estudantes são considerados produtores de significados e não meros reprodutores do texto. As abordagens previstas possibilitam aos estudantes estabelecer relações entre o que eles já sabem e o conteúdo dos textos lidos, para então construir interpretações consistentes, o que mobiliza a identificação de elementos explícitos no texto, o estabelecimento de relações entre eles e inferência ou extração de ideias. Nas Orientações específicas deste Suplemento, oferecemos alguns direcionamentos para conduzir essas atividades.

Para auxiliar nessa tarefa, sugerimos a leitura do livro **35 estratégias para desenvolver a leitura com textos informativos** (MOSS; LOH, 2012). Apresentamos, a seguir, de forma resumida, três dessas estratégias que podem auxiliar no processo de leitura inferencial, tanto nas oportunidades oferecidas pela Coleção quanto em outros textos da vida cotidiana dos estudantes, como matérias impressas ou digitais de jornais e revistas de grande circulação:

- estratégia A – **marcar páginas com organizadores adesivos**: ajuda os jovens a ler com objetivos específicos em mente. Cada estudante recebe quatro marcadores adesivos. No primeiro,

eles vão marcar um ponto de exclamação (!) para as partes mais importantes e/ou interessantes do texto. O segundo, que deve ser identificado com um "V", é para vocábulos que precisam ser bem discutidos; o terceiro, identificado com um ponto de interrogação (?), é para trechos aparentemente confusas do texto; e o quarto, identificado com a letra (I), deve ser usado para indicar um elemento ilustrativo (desenho, mapa, tabela, gráfico) que os ajudaram a inferir melhor o significado que o autor pretende transmitir no texto;

- estratégia B – **guia de discussão**: possibilita uma leitura crítica buscando entender o que está por trás da informação. Nesse caso, a atividade deve ser feita em grupo e se basear no preenchimento de um guia com base na leitura do texto. Esse guia deve conter quatro novos aprendizados, três comentários e/ou opiniões, duas perguntas e um tópico que precisa de um exame mais aprofundado por meio de novas leituras;
- estratégia C – **cartão de comentário**: reunidos em grupos e com base em uma leitura, preferencialmente de um tema controverso, os estudantes devem receber uma folha de papel A4 e dividi-la em quatro partes. Nessas partes, devem escrever: um comentário, uma surpresa, uma pergunta e uma observação. As folhas podem então ser coladas uma a uma em um painel. Alternativamente, pode-se dividir a lousa ou o mural em quatro partes e reunir em um único quadrante todas as percepções dos estudantes referentes a comentários; em outro, sobre as surpresas; e assim por diante. Outros tipos de cartão de comentário podem ser criados dependendo das características do texto trabalhado. Uma sugestão é a divisão em: "Concordo", "Concordo com ressalvas", "Discordo" e "Preciso de mais informações para me posicionar".

O jovem do Ensino Médio como protagonista

Para Costa (2000),

> [...] o protagonismo juvenil parte do pressuposto de que o que os adolescentes pensam, dizem e fazem pode transcender os limites de seu entorno pessoal e familiar e influir no curso dos acontecimentos na vida comunitária e social mais ampla. (COSTA, 2000)

Ou seja, trata-se de um olhar que reconhece o potencial criador e transformador do jovem em sua atuação no mundo.

A escola assume papel fundamental no desenvolvimento desse protagonismo, pois é nesse local que se torna possível a articulação entre os saberes que os jovens trazem de suas vivências e os saberes teóricos e conceituais que são desenvolvidos na prática pedagógica.

Pensar em protagonismo, portanto, é uma mudança de paradigma que, além de posicionar o jovem no centro do processo de aprendizagem, coloca-o como cocriador do próprio processo, e não somente como um receptor de conteúdo.

A revista **Nova Escola** publicou, em 2013, um número especial intitulado "O que os jovens de baixa renda pensam sobre a escola". A apuração feita naquela edição revelou, entre outros aspectos, que esses jovens não viam sentido em muitos dos conteúdos ensinados e reclamavam da falta do uso de tecnologias na escola. A publicação indicou também que o jovem não se sentia pertencente ao ambiente escolar, por isso não via propósito no que aprendia, além de perceber a distância entre a vida real (baseada na tecnologia) e a rotina escolar.

Com o intuito de aproximar o conteúdo estudado na escola das realidades dos estudantes, a Coleção contempla temáticas sugeridas pelo TCTs e busca ser parceira do professor, na medida em que sugere abordagens apropriadas ao desenvolvimento do protagonismo juvenil associado às competências gerais e às habilidades e competências específicas da área Ciências da Natureza e suas Tecnologias. E várias temáticas trabalhadas na obra dialogam com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, favorecendo a atribuição de sentido às aprendizagens dos estudantes por sua vinculação aos desafios da realidade mundial, regional e local.

Coerente com essa perspectiva, em vários momentos a obra busca viabilizar o acesso dos estudantes às bases científicas e tecnológicas dos processos de produção do mundo contemporâneo, articulando o conhecimento teórico à resolução de problemas da sua realidade.

O quadro **Reflita sobre seu aprendizado!** é também um exemplo de estímulo ao protagonismo juvenil. Por meio dos questionamentos "O que você aprendeu acerca dos assuntos abordados nesta unidade?" e "O que mais você gostaria de saber sobre os conteúdos abordados nesta unidade?", por exemplo, os estudantes são convocados a refletir sobre experiências e aprendizagens desenvolvidas ao longo do estudo da unidade. Eles também são incentivados a aprofundar a temática a fim de privilegiar suas necessidades e seus interesses. Essa é uma estratégia de conscientização para que o estudante continue aprendendo e aprimorando seus conhecimentos.

A BNCC deixa explícito que enxergar o estudante como protagonista pressupõe também valorizar sua bagagem pessoal e cultural, ou seja, seus conhecimentos prévios. Admite ainda seu envolvimento em processos de discussão, decisão, desenho e execução de ações porque, conforme expõem Costa e Vieira (2000), o protagonismo juvenil reconhece que a participação dos jovens pode gerar mudanças decisivas na realidade social, ambiental, cultural e política em que estão inseridos.

Com o intuito de atender também a essas demandas, a Coleção reservou espaços que valorizam a voz do estudante. O quadro **Pense nisso!**, por exemplo, diz respeito às questões de levantamento de conhecimentos prévios sobre o conteúdo de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Essa ferramenta auxilia o docente em seu planejamento, respeitando as especificidades de cada turma e de cada estudante. A utilização dessa estratégia se justifica porque a aprendizagem significativa está associada à capacidade do estudante de relacionar o que já sabe sobre determinado assunto com o que está aprendendo, e assim estabelecer conexões. No entanto, o professor não deve se limitar a esse quadro para mapear os conhecimentos dos estudantes. É fundamental que tenha em mente que a natureza (procedimental, conceitual, factual ou atitudinal) do conteúdo também determina a maneira como o levantamento de conhecimentos prévios pode ser conduzido, por exemplo, por meio de desenhos e esquemas representativos, rodas de conversa, produções de texto, análises de casos e situações, encenações e dramatizações, desafios de lógica, entre outros.

Em determinadas atividades, os estudantes são incitados a atuar de modo responsável e consciente nas diferentes esferas: social, política, cultural, ambiental. De acordo com essa perspectiva, eles são conduzidos a aprender a estruturar argumentos adequadamente embasados que justifiquem suas ideias e a avaliar informações a que são expostos dentro da temática. Ao saber utilizar argumentos, os estudantes podem extrapolar os muros da sala de aula, mobilizando esse conhecimento para resolução de problemas diários.

Ressignificando o papel do professor e sua prática pedagógica

A nova configuração do Ensino Médio prevê não apenas que os estudantes assumam o protagonismo do seu processo de formação, como também exige uma mudança no papel do professor, o que já vem acontecendo há algum tempo na educação, desde que seu eixo central passou do ensino (centralizado na figura de autoridade do professor) para a aprendizagem (focada na figura do estudante produtor de conhecimento). O Ministério da Educação, nos anos 2000, propôs uma formação, nos cursos de Ensino Superior, mais condizente com os desafios do mundo atual:

> [...] Dentre as exigências que se colocam para o papel docente destacam-se:
>
> - orientar e mediar o ensino para a aprendizagem dos alunos;
> - responsabilizar-se pelo sucesso da aprendizagem dos alunos;
> - assumir e saber lidar com a diversidade existente entre os alunos;
> - incentivar atividades de enriquecimento curricular;
> - elaborar e executar projetos para desenvolver conteúdos curriculares;
> - utilizar novas metodologias, estratégias e materiais de apoio;
> - desenvolver hábitos de colaboração e trabalho em equipe. (BRASIL, 2000)

Há, portanto, uma mudança de paradigma tanto do papel docente, que vem buscando ocupar esse espaço de facilitador do processo de aprendizagem, compartilhando a autoridade desse processo, quanto do estudante, que busca sair do papel de cumpridor de tarefas para alguém que faz proposições e é ouvido de fato.

Costa (2001) afirma que a verdadeira relação educador-educando

> [...] baseia-se na reciprocidade, entendida como interação na qual duas presenças se revelam mutuamente, aceitando-se e comunicando uma à outra, uma nova consciência, um novo conteúdo, uma nova força, sem que, para isto, a originalidade inerente a cada um seja minimante posta em causa.

Trata-se, portanto, de um equilíbrio dialógico entre os dois papéis, o do professor e o do estudante, ambos com exigências e paradigmas novos para lidar. Nesse cenário, a colaboração tende a ser um caminho de crescimento e desenvolvimento mais fluido e eficaz.

Para repertoriar os docentes com ferramentas capazes de estabelecer essa colaboração na aprendizagem, trazemos sugestões de **metodologias ativas**, que também favorecem o desenvolvimento de competências e habilidades preconizadas pela BNCC.

Metodologias ativas

A essência do termo **metodologia ativa** não se constitui em algo novo. Encontramos menções à importância da ação e da experiência para a aprendizagem em Dewey (1950), Freire (2009), Rogers (1973), Novak e Gowin (1999). O estadunidense John Dewey (1859-1952), por exemplo, em seu ideário da Escola Nova, já defendia que a aprendizagem ocorre pela ação, colocando o estudante no centro dos processos de ensino e de aprendizagem. Portanto, é no contexto de crise enfrentada pela escola tradicional e conteudista que as metodologias ativas encontram um ambiente oportuno para serem consideradas nas práticas pedagógicas dos professores.

De acordo com Bacich e Moran (2018, p. 25) as

> [...] metodologias ativas são estratégias de ensino centradas na participação efetiva dos estudantes na construção do processo de aprendizagem [...] ao seu envolvimento direto, participativo e reflexivo em todas as etapas do processo, experimentando, desenhando, criando, com orientação do professor.

Diesil, Baldez & Martins (2017) identificam que os princípios que constituem essa abordagem de ensino são: estudante como centro do ensino-aprendizagem; professor como mediador, facilitador, ativador; inovação; trabalho em equipe; problematização da realidade; reflexão e autonomia.

Nessa perspectiva, o uso das metodologias ativas requer uma mudança de postura do professor e do estudante para que ressignifiquem seus papéis, como pode ser observado no quadro a seguir.

Características que professores e estudantes assumem em dois contextos de ensino

	Papel do professor	Papel do estudante
Ensino tradicional	Transmissor do conhecimento e centro do processo	Receptor passivo da informação
	Trabalho individual e por disciplina	Participa isoladamente do processo
	Conteúdos organizados em aulas expositivas	Transcreve, memoriza e repete
	Avalia o produto	Faz avaliações (provas e testes)
Ensino com metodologias ativas	Orientador, tutor, conduz a aprendizagem	Ativa o conhecimento prévio
	Trabalho em equipe	Aprende em ambiente colaborativo: interação estudante × estudante; estudante × professor; estudante × material didático
	As disciplinas são organizadas por área de conhecimento, valorizando a interdisciplinaridade	Pesquisa, analisa, avalia, toma decisões coletivas e/ou individuais com a finalidade de encontrar soluções para um problema
	Avalia o processo e o produto	Faz autoavaliação, avaliação entre pares e avaliação do professor

Fonte: DIESIL, A.; BALDEZ, A. L. S.; TINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

Uma abordagem que faz uso de metodologias ativas promove, por meio de atividades complexas, o desenvolvimento das competências gerais enfatizadas pela BNCC. Aprendizagem baseada em problemas, em projetos, por pares, *design thinking*, sala de aula invertida, método *jigsaw*, estudo do meio e estudo de caso são apenas alguns exemplos de metodologias ativas, e a escolha da metodologia a ser adotada é condicionada aos objetivos de aprendizagem concernentes a cada turma.

O tópico *Sugestões didáticas* nas Orientações específicas deste Suplemento oferece sugestões para conduzir determinados conteúdos com base em metodologias ativas. Ao longo das orientações, foram destacadas e justificadas as competências gerais que podem ser desenvolvidas nessas ocasiões. Esta Coleção valoriza o docente não apenas como mediador do processo de ensino e aprendizagem, mas também como pesquisador da própria prática, que questiona, reflete e reavalia as etapas de seu trabalho na busca por soluções. Assim, estamos certos de que, com base em seus saberes, o professor pode adaptar nossa sugestão ao seu contexto educativo a fim de proporcionar um ambiente em que os estudantes desenvolvam cada vez mais a autonomia.

Avaliação a serviço da aprendizagem

Quando se pensa na avaliação como processo, surgem questionamentos voltados aos resultados esperados e cobrados dos estudantes, e os professores, na função de mediadores, por vezes, se perguntam quais são os instrumentos seguros e legítimos que podem ser utilizados.

Segundo Luckesi (2011), a avaliação deve ser o instrumento dialético do avanço, porque a aprendizagem, como cerne da ação avaliativa, é dinâmica. Assim, deve-se buscar o impulsionamento das aprendizagens dos estudantes levando em consideração seus aspectos cognitivos, afetivos e sociais, além de promover a melhoria do ensino. Esses dois processos – ensino e aprendizagem – são dinâmicos e complementares.

Concordamos com Luckesi (2011) quando aponta que:

> [...] para qualificar a aprendizagem de nossos educandos, importa, de um lado, ter clara a teoria que utilizamos como suporte de nossa prática pedagógica, e, de outro, o planejamento de ensino, que estabelecemos como guia para nossa prática de ensinar no decorrer das unidades de ensino do ano letivo.

Torna-se necessária, portanto, uma reflexão do professor a respeito dos instrumentos capazes de recolher dados sobre a realidade de aprendizagem dos estudantes. Os instrumentos podem ser diversificados tanto quanto é diversificada a maneira como os estudantes estão aptos a aprender e demonstrar seu aprendizado. O **Guia de Implementação do Novo Ensino Médio** deixa explícita a necessidade de elaboração de modelos avaliativos que deem conta das particularidades de cada metodologia e estratégia de ensino e aprendizagem:

> As escolas não devem se limitar somente à aplicação de provas escritas ao final de um período, em especial quando o que está sendo avaliado não é apenas o aprendizado de conteúdos, mas o desenvolvimento de habilidades e competências. Propõe-se que se desenvolvam diferentes métodos de avaliação que atendam à nova realidade, como a demonstração prática, a construção de portfólios, a documentação emitida por instituições de caráter educativo, entre outras formas de se avaliar os saberes dos estudantes. (BRASIL, 2020)

A prática avaliativa no contexto atual visa, então, superar sua função burocrática de atribuir notas e sua limitação à memorização repetitiva de conteúdos conceituais. Uma das preocupações no Novo Ensino Médio é desenvolver habilidades e competências, o que exige do professor uma escolha diferenciada e diversificada de instrumentos que o ajudem a perceber o progresso dos estudantes nas múltiplas relações que eles estabelecem com o conhecimento científico e com os conteúdos procedimentais e atitudinais. Dentro desse contexto, vários modelos avaliativos podem ser aplicados.

O modelo de **avaliação formativa** acompanha todo o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes, permitindo ao professor identificar os resultados de seu trabalho e ao estudante constatar as próprias dificuldades, de forma que as aparentes falhas sejam encaradas como guias no processo pedagógico, possibilitando redirecionamentos e potencialização das aprendizagens (PERRENOUD, 1991; HADJI, 2011).

No modelo de **avaliação diagnóstica**, no início de determinada etapa de ensino, é feita a verificação de um conjunto de conteúdos a fim de subsidiar o docente no planejamento das atividades pedagógicas posteriores (CORTESÃO, 2002). Já o chamado modelo de **avaliação somativa** é adotado em etapas finais de ensino, objetivando a verificação do que os estudantes assimilaram com base em atividades geralmente fechadas de intuito seletivo e classificatório (FERNANDES, 2008; SANTOS, 2016). No entanto, esse modelo também pode ter caráter formativo quando fornece *feedback* tanto ao docente quanto aos estudantes sobre as aprendizagens realizadas e os resultados das estratégicas pedagógicas adotadas (FERNANDES, 2023).

Na **avaliação comparativa** (ou normativa), o desempenho dos estudantes é comparado entre si e não com os objetivos de aprendizagem, baseando-se em análise estatística (ARREDONDO; DIAGO, 2013). Embora esse modelo não forneça dados sobre a aprendizagem individualizada dos estudantes, ele possibilita fazer levantamentos estatísticos acerca de processos educacionais; é típico de avaliações como Enem, Saeb, vestibulares e simulados.

Já no modelo de **avaliação ipsativa**, a aprendizagem dos estudantes é avaliada de acordo com a progressão deles entre o ponto de partida e o de chegada do processo educacional, podendo complementar a avaliação formativa (HUGHES, 2017).

Esta Coleção apresenta momentos que priorizam a avaliação, delineando sua importância ao longo do processo de aprendizagem. Na Abertura das unidades, o quadro **Pense nisso!** serve de avaliação diagnóstica, permitindo ao professor colher pistas do que os estudantes já sabem e de como compreendem o conteúdo para, então, usá-las como subsídio no planejamento do estudo dos capítulos. Na seção **Educação midiática**, as perguntas apresentadas ao final do texto introdutório também têm o propósito de sondar conhecimentos prévios dos estudantes acerca do assunto que será aprofundado e servirá de base para a produção de um conteúdo específico ao término da atividade.

As questões apresentadas nas seções **Aplique e registre** permitem ao docente fazer avaliação formativa dos estudantes ao longo do estudo dos capítulos e avaliação somativa quando se considera que cada uma dessas seções se refere à verificação aprendizagem do bloco de conteúdo subsequente.

Nas seções **Aplique e registre**, **Atividade comentada** e **Atividades de fechamento**, há exemplos de atividades do Enem e de vestibulares que possibilitam aos estudantes vivenciar aspectos de avaliações somativas às quais poderão se submeter em anos subsequentes, por ocasião do ingresso no Ensino Superior.

A seção **Atividades de fechamento** tem um caráter de avaliação somativa, pois visa avaliar o conteúdo assimilado pelos estudantes após o estudo do capítulo. No entanto, como proporciona um *feedback* tanto ao estudante quanto ao professor acerca das práticas pedagógicas realizadas durante esse percurso, também apresenta viés formativo.

A seção **Reflita sobre seu aprendizado!** é um momento de autoavaliação que demanda dos estudantes a decomposição dos objetivos gerais da unidade em suas partes para posterior percepção dos aspectos desses objetivos que foram atendidos à luz do que foi estudado na unidade e daqueles que ainda precisam ser esclarecidos. Trata-se de uma estratégia de avaliação ipsativa que remete ao pensamento computacional ao dividir um problema em problemas menores até que sua solução seja trivial. Já o tópico *Autoavaliação* da seção **Educação midiática** possibilita aos estudantes identificar pontos fortes e fracos em relação ao desenvolvimento dos objetivos de aprendizagem, habilidades e competências de alfabetização midiática e informacional mobilizados na atividade, representando assim mais um exemplo de avaliação ipsativa.

Na Coleção, consideramos a **autoavaliação** uma etapa importante da aprendizagem, pois permite que os estudantes assumam responsabilidade e autonomia sobre esse processo, refletindo sobre a própria aprendizagem e estabelecendo ações que favoreçam seu avanço.

No caso da seção **Educação midiática**, apresentamos ainda neste Suplemento a sugestão de uso de rubricas – quadros que relacionam objetivos de aprendizagem e níveis de desempenho – com base em critérios de avaliação presentes ao final da seção para auxiliar o professor na avaliação formativa dos estudantes nas atividades de alfabetização midiática e informacional desenvolvidas.

Destacamos ainda dois instrumentos de avaliação e as oportunidades em que podem ser realizados com base nas seções do Livro do estudante e nos objetivos de aprendizagem estabelecidos para o percurso pedagógico planejado.

- **Mapa conceitual**

É uma representação gráfica de uma rede de proposições que explicita a relação entre conceitos sobre determinado conhecimento. Os conceitos são organizados de forma hierárquica, do mais geral, localizado no topo, ao mais específico, na base do mapa. A construção deve responder a uma pergunta específica que direciona a elaboração e a leitura. Assim, ao trabalhar com o conteúdo do Livro do estudante, esse recurso ajuda o professor a verificar o conhecimento declarativo dos estudantes a respeito do conteúdo vinculado às habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, mobilizando também as **competências gerais 1** e **2**. Sugerimos duas maneiras de utilizar essa ferramenta:

1. solicitar aos estudantes que construam um mapa com base no seguinte questionamento: "Quais são os principais assuntos tratados ao longo do capítulo?". Nesse caso, é importante que o professor ensine os estudantes a construir um mapa conceitual realizando um treinamento sistemático para que eles possam encadear corretamente os componentes essenciais, as proposições, a hierarquia e a pergunta focal. Indicamos os artigos de Moraes e colaboradores (2011) e Moreira (2012) como referências para auxiliar nessa tarefa;
2. o professor elabora um mapa conceitual sobre o capítulo estudado com alguns elementos conceitualmente incorretos. Os erros devem ser de níveis simples, intermediário e avançado. Cópias desses mapas devem ser distribuídas aos estudantes para que identifiquem os erros e sugiram correções. Por fim, o professor avalia a quantidade e a complexidade dos erros identificados, bem como as sugestões de correção.

Nas duas sugestões, o professor pode solicitar a construção ou a análise do mapa conceitual em grupo ou individualmente. Além disso, é importante que os estudantes compartilhem o aprendizado com os colegas, promovendo um momento de prática metacognitiva e permitindo ao professor reconhecer dificuldades conceituais dos educandos. Esse momento também é uma oportunidade para avaliar como os estudantes mobilizam a **competência geral 4**, que tem como foco a comunicação que leve ao entendimento mútuo.

- **Debate**

O debate é uma atividade planejada e estruturada para a exposição de diferentes pontos de vista sobre determinado assunto e pode assumir diversos formatos (simulações de assembleias, júris, convenções etc.). Como instrumento de avaliação, permite ao professor identificar como os estudantes aplicam as habilidades que essa ferramenta pedagógica demanda: conhecimento escolar, argumentação, oralidade, organização estratégica do pensamento, capacidade de escuta etc., favorecendo a mobilização de elementos que compõem as **competências gerais 1**, **4**, **7** e **9**. É importante que o professor componha uma lista de critérios de avaliação para acompanhar o debate e, assim, possa orientar adequadamente a conduta de cada estudante.

A Coleção cria oportunidades para que o debate seja valorizado como estratégia de aprendizagem e de avaliação. As seções **Em foco**, **Trabalho e juventudes** e **Educação midiática** permitem organizar esse tipo de atividade, uma vez que estimulam a participação ativa dos estudantes, convidando-os a expor suas opiniões e a refletir sobre os diferentes pontos de vista. Em algumas questões da seção **Atividades de fechamento** esse recurso também pode ser adotado.

Além desses instrumentos, é possível realizar resumos, relatórios ou fichas de observação, principalmente durante o trabalho com a seção **Na prática**; confeccionar portfólio individual ao longo do estudo da unidade; elaborar *blog*, produzir vídeos e animações em *stop motion* para divulgar informações para a comunidade; e utilizar rubricas (que indicam, em escala, as expectativas específicas para determinada tarefa) para avaliar o trabalho dos estudantes, o que pode ser feito em qualquer seção do livro.

As seções **Aplique e registre**, **Atividade comentada** e **Atividades de fechamento**, compostas de questões de múltipla escolha e questões discursivas, contribuem para a preparação dos estudantes para as avaliações em larga escala. São oportunidades para o professor se tornar parceiro do estudante utilizando essas seções como instrumentos a serviço da aprendizagem do educando: de um lado, o professor atua como mediador, auxiliando na resolução dos exercícios; de outro, o educando gradativamente ganha autoconfiança, tornando-se autônomo, de modo que os erros e as dúvidas possam impulsionar sua aprendizagem.

Durante o trabalho com as seções mencionadas, o professor deve ir além da constatação das dificuldades dos estudantes. É preciso compreender o nível e as condições em que eles se encontram, com intuito de (re)direcionar suas ações e apresentar caminhos para que o educando construa seu conhecimento. Nesse contexto, para o professor, a avaliação assume um caráter reflexivo, que pode ser norteado por alguns questionamentos: "Como planejo minhas aulas?"; "Como registro e avalio o trabalho realizado pelos estudantes?"; "Quais são as principais causas do sucesso ou do fracasso das estratégias adotadas?" e "O que deve ou não ser alterado?".

ORIENTAÇÕES ESPECÍFICAS DO VOLUME

O componente curricular Física

A Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018) estabelece que os conhecimentos da Física devem fazer parte dos currículos na área de Ciências da Natureza, visando garantir um corpo de conhecimentos que permitam ao estudante se alfabetizar científica e tecnologicamente e se capacitar para a tomada de decisões informadas. Nesse sentido, os conhecimentos produzidos pela Física, pela Química e pela Biologia devem ser articulados na formação científica escolar. Assim, o ensino das Ciências da Natureza deve ser planejado de forma a refletir, primordialmente, sobre o que é necessário para que os estudantes desenvolvam uma visão crítica e interventiva do mundo que os rodeia; como consequência, poderá contribuir também para a formação de novos cientistas.

A Física abrange desde questões práticas, como o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à comunicação digital,, até indagações filosóficas sobre a origem do Universo. A partir do conhecimento sólido de princípios físicos, os indivíduos podem se posicionar em relação a situações concretas que exigem avaliações de riscos e benefícios. Ensinar Física é, portanto, fundamental não apenas para contribuir com o desenvolvimento individual do estudante, mas também para a construção de uma sociedade mais consciente e responsável, que necessita de conhecimentos que unam teoria e prática para buscar novas soluções que atendam às necessidades atuais e futuras.

Em um mundo onde o acesso à informação é amplamente facilitado, o papel do professor na sala de aula se relaciona também à formação de estudantes que saibam como buscar, avaliar e utilizar essas informações de maneira autônoma e responsável, especialmente em um contexto em que a cultura digital está em constante evolução.

A BNCC destaca a importância de habilidades como comunicação, criatividade e pensamento crítico, que vão muito além do simples acúmulo de dados. Isso implica adotar uma postura crítica e questionadora, em que o foco não seja apenas a entrega de respostas, mas também a mediação na construção de perguntas significativas que estimulem o pensamento reflexivo. Assim, educador e educando podem aprender juntos, com a construção de saberes. Essa dinâmica de questionar a realidade, construir conhecimentos que possam contribuir para a reflexão sobre o mundo e para trazer respostas aos questionamentos não só torna o aprendizado mais envolvente, mas também estimula os estudantes a se tornarem pensadores autônomos, capazes de enfrentar os desafios científicos e sociais de forma criativa e eficaz.

Nesse contexto, cabe ao professor criar e sustentar ambientes de aprendizagem colaborativa e investigativa, promovendo o desenvolvimento de competências e de habilidades essenciais, como observação, indagação, classificação e interpretação de dados, além de incentivar a formulação de hipóteses e a resolução de problemas.

Devido à pluralidade das práticas educativas, é crucial compreender os fundamentos epistemológicos que sustentam a educação científica. Além disso, o ensino de Ciências, especialmente da Física, demanda uma abordagem pedagógica que reconheça a complexidade das interações entre os diferentes sujeitos envolvidos nos processos de ensinar e aprender, considerando as diferentes realidades dos estudantes e seus saberes, as características de cada turma e as condições do ambiente profissional.

Contudo, ensinar Física com práticas dialógicas sustentando ambientes de aprendizagem coletiva exige a consciência de que vivemos em uma sociedade multicultural; portanto, é essencial promover a inclusão e o acolhimento da diversidade presente em nosso entorno – de etnias, de gêneros, de corpos, de classes sociais e de crenças religiosas, por exemplo.

A educação escolar deve incentivar o diálogo entre diferentes culturas e perspectivas, ajudando os estudantes a entender seu papel na comunidade e na sociedade como um todo; portanto, a interdisciplinaridade se torna uma estratégia fundamental, pois fenômenos complexos frequentemente exigem uma abordagem que abarca múltiplas áreas do conhecimento. Assim, o ensino de Física pode ser enriquecido ao integrar conceitos diversos, favorecendo uma compreensão mais holística dos saberes escolares, ampliando visões de mundo.

UNIDADE 1

UNIVERSO, TERRA E VIDA

Um dos grandes questionamentos da Ciência é a origem do Universo e da vida. Como tudo começou? Quando? Só existe vida na Terra? Há outras formas de vida no Universo? Quais são os prós e os contras do investimento em pesquisa espacial? Essas perguntas são tão amplas que a busca por respostas abrange a união dos esforços de diversas áreas da pesquisa.

Explore a imagem e o texto da abertura da unidade para discutir a relação entre a composição química dos planetas e a possibilidade de existência de vida como a conhecemos fora da Terra, se possível em uma abordagem interdisciplinar com Biologia e Química. Se conveniente, consulte as aberturas das unidades 1 dos volumes de Biologia e de Química, faça um planejamento prévio e trabalhe de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza. Converse com os estudantes sobre as condições necessárias para a vida na Terra e explique por que os cientistas buscam por planetas fora do Sistema Solar com características semelhantes às do planeta Terra.

1. Espera-se que os estudantes reflitam sobre os diferentes modelos propostos para explicar a origem e a evolução do Universo. Isso inclui desde o modelo geocêntrico, que colocava a Terra no centro do Universo, até o modelo cosmológico padrão, que é amplamente aceito atualmente e descreve a evolução do Universo a partir do Big Bang, um evento que teria marcado o início do tempo e do espaço como os conhecemos. A reflexão pode incluir a consideração de teorias alternativas e a importância das observações astronômicas que sustentam essas ideias.
2. Espera-se que os estudantes considerem que sistemas planetários como o Sistema Solar são formados com o que restou da formação das estrelas, já que os elementos presentes nesses corpos celestes são originários dos processos de nucleossíntese estelar. A reflexão deve incluir a ideia de que a presença de certos elementos químicos, como carbono, oxigênio e nitrogênio, é fundamental para a vida como a conhecemos. A possibilidade de vida em outros planetas depende, em grande parte, de uma composição química que permita a formação de moléculas orgânicas complexas, essenciais para os processos biológicos.
3. Espera-se que os estudantes reflitam sobre como a vida segundo a conhecemos na Terra depende de condições específicas, como a existência de água no estado líquido, uma fonte de energia estável (o Sol), temperaturas específicas, a existência de uma atmosfera com composição química particular, entre outras. Essas são as condições que os cientistas buscam ao estudar exoplanetas em diferentes locais do Universo; por isso, é comum procurar por planetas mais parecidos com a Terra ao estudar outros sistemas planetários.

Capítulo 1 O início de tudo

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Reconhecer a teoria do Big Bang como aquela que fornece explicações científicas mais plausíveis sobre a origem do Universo.
- Discutir, com base em fatos e informações confiáveis, teorias propostas em diferentes épocas para compreender diferentes explicações sobre a evolução do Universo.
- Analisar hipóteses e previsões a respeito da evolução do Universo sob uma perspectiva científica.
- Utilizar diferentes linguagens para comunicar ideias científicas e promover debates sobre a origem do Universo.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 4; 5; 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT201; EM13CNT204; EM13CNT301

Sugestões didáticas

Para este capítulo, sugerimos uma abordagem didática para a aprendizagem baseada em investigação, o ensino por investigação. Como o objetivo do ensino por investigação é aproximar a cultura escolar do fazer científico, o professor poderá sugerir a utilização de materiais que vão desde o Livro do estudante até artigos de revistas científicas, documentários, entrevistas com especialistas etc. No entanto, deve ser enfatizada para os estudantes a importância da atenção à confiabilidade das fontes e, sempre que possível, da confirmação da mesma informação em mais de uma fonte. Outra estratégia que deve ser desenvolvida ou mantida por eles é o hábito de anotar as referências de onde obtiveram algum dado ou informação. Esse procedimento desempenha um papel importante para o desenvolvimento de alguns elementos das **competências gerais 1**, **2** e **7**.

É importante notar que, no ensino por investigação, os questionamentos propostos não têm respostas fechadas ou respostas únicas. Assim, a avaliação da aprendizagem, nesse caso, deve ser feita sobre as evidências de aquisição do conhecimento e do desenvolvimento das competências e das habilidades que serão mencionadas aqui.

Ao longo do estudo do capítulo, a importância de compreender historicamente a evolução das ideias que explicam a evolução do Universo é essencial para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201** e da **competência geral 1**. Reforce que a Ciência é um processo em constante evolução e que as ideias e teorias científicas se aperfeiçoam à medida que novas evidências são reunidas. Destaque a importância da investigação científica contínua e do desenvolvimento tecnológico na ampliação do conhecimento sobre o Universo.

A discussão sobre a Lei de Hubble-Lemaître favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, pois exercita a elaboração de hipóteses e previsões a respeito da evolução do Universo de uma perspectiva científica.

Já a compreensão sobre a teoria do Big Bang favorece o aprofundamento da habilidade **EM13CNT201** e da **competência geral 1**.

A leitura do artigo sugerida na seção **Fique por dentro**, além de complementar o conteúdo, possibilita o uso de tecnologias digitais, favorecendo o desenvolvimento da **competência geral 5**.

Embora Einstein confiasse na construção matemática de sua teoria, considera-se que o eclipse de Sobral tenha sido o evento que o elevou à categoria de um dos maiores cientistas de todos os tempos. O tema do eclipse de Sobral representa um importante marco para a história da Ciência brasileira e pode ser aprofundado por meio da leitura da referência suplementar: ZYLBERSZTAJN, A. A deflexão da luz pela gravidade e o eclipse de 1919. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis: UFSC. v. 6, n. 3, p. 224-233, dez. 1989. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9255/15164. Acesso em: 8 out. 2024.

O entendimento do raciocínio de Einstein, com seus cálculos, suas previsões e suas explicações a respeito do movimento dos corpos no Universo, favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT204**.

Ao final do estudo deste capítulo, faça uma dinâmica de correção coletiva das atividades da seção **Aplique e registre** a fim de compartilhar a assimilação dos diversos tópicos apresentados e de desenvolver a habilidade **EM13CNT301**, considerando que o estudo da teoria da relatividade contribui para a análise da evolução do Universo sob uma perspectiva científica. Essa dinâmica favorece o desenvolvimento da **competência geral 4**, já que os estudantes utilizarão a linguagem verbal e os conhecimentos científicos para se expressar de modo que cheguem a um entendimento mútuo. Esse é um momento oportuno para identificar possíveis dificuldades na aprendizagem.

Para finalizar o trabalho com o capítulo, proponha aos estudantes a **Atividade complementar** a seguir. Com ela, se possível, promova um evento científico-cultural na escola. Como o objetivo desta abordagem didática – a sequência de ensino por investigação – é mesclar aspectos da cultura científica com a cultura escolar, propomos que seja promovida a elaboração de pôsteres e a encenação de uma peça teatral para que os estudantes experimentem a comunicação científica por duas vias distintas.

Atividade complementar

Comunicando Ciência

A atividade consiste na realização de um evento científico-cultural composto de dois momentos: a comunicação científica no formato de pôster e a encenação de uma conversa entre cientistas. Nesta atividade, os estudantes terão a oportunidade de vivenciar dois tipos de comunicação bastante diferentes em relação à linguagem e à formalidade, mas que podem ser complementares para o aprendizado sobre a origem e a evolução do Universo. Assim, essa estratégia favorece o desenvolvimento das **competências gerais 3**, **4** e **9** e das habilidades **EM13LGG104** (Utilizar as diferentes linguagens, levando em conta seus funcionamentos, para a compreensão e produção de textos e discursos em diversos campos de atuação social.), **EM13CNT201**, **EM13CNT204**, **EM13CNT301** e **EM13CNT302**, quando esses dois tipos de linguagem e formalismo são utilizados para comunicar e discutir temas científicos. A atividade pode ser realizada em grupos de quatro a sete integrantes e ocorrer em duas etapas.

A primeira etapa consiste na elaboração de pôsteres para comunicar cientificamente o processo de evolução do Universo. Para isso, proponha aos grupos que pesquisem os seguintes temas: Universo estático, Universo em expansão, teoria do estado estacionário e Big Bang. Converse com os estudantes sobre a importância de sempre buscar informações em fontes confiáveis, como revistas e livros científicos, *sites* de universidades, de institutos de pesquisa ou de órgãos governamentais. Em seguida, discutam as informações encontradas e façam uma síntese das principais ideias no caderno. Estimule os estudantes a compartilhar os conhecimentos com os demais integrantes do grupo e que decidam juntos quais são as informações mais relevantes para a elaboração do pôster. Com base nas decisões tomadas pelo grupo, deve ser elaborado um pôster para comunicar aos demais grupos a síntese registrada no caderno sobre o tema. Nesse tipo de comunicação científica, é importante que sejam utilizadas linguagem adequada e estrutura organizada, assim como ocorre em eventos científicos.

Na segunda etapa, a proposta é que os estudantes comuniquem Ciência de foma artística encenando a peça *Big Bang Brasil*. Essa peça consiste em um texto lúdico sobre a história da Cosmologia no século XX, desde o desenvolvimento da teoria da relatividade geral, por volta de 1917, até as observações do satélite COBE (desenvolvido para realizar medições da radiação cósmica de fundo do universo primordial), na década de 1990. Ela é inspirada em um *reality show*, em que o apresentador de um programa de TV dialoga com personagens da história da Cosmologia: Einstein, Friedmann, Lemaître, Gamow, Hoyle, Penzias e Smoot. Em meio às controvérsias, ocorre a disputa entre a teoria do Big Bang, segundo a qual o Universo teve um começo, defendida por George Gamow, e a teoria do estado estacionário, segundo a qual o Universo sempre existiu, defendida por Fred Hoyle.

A peça é dividida em três momentos e pode ser encenada com três grupos diferentes. O artigo a seguir apresenta o texto da peça. HENRIQUE, A. B.; COLOMBO JR., P. D. **Big Bang Brasil**: uma peça teatral com abordagem histórico-filosófica para o ensino de Cosmologia. I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: https://sab-astro.org.br/wp-content/uploads/2017/03/SNEA2011_TCO1.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A teoria do Big Bang descreve a expansão do Universo a partir de uma singularidade de dimensões desprezíveis, mas com densidade e temperatura extremamente altas, há cerca de 13,8 bilhões de anos. De acordo com essa teoria, o Universo continua em expansão.

2. **a.** Para determinar o valor de um ano-luz em quilômetro, devemos multiplicar a intensidade da velocidade da luz no vácuo (300.000 km/s) pelo número de segundos existentes em um ano.

Considerando 1 ano = 365 dias; 1 dia = 24 h; 1 h = 60 min; 1 min = 60 s, temos:

$\Delta t = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ s $\therefore \Delta t = 31.536.000$ s

Cálculo da distância, em quilômetro:

$d = v \cdot \Delta t \Rightarrow d = 300.000 \text{ km/s} \cdot 31.536.000 \text{ s}$

$\therefore d \simeq 9{,}5\ 10^{12}$ km

b. Considerando 1 km = 1.000 m, temos:

$d \simeq 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km $\Rightarrow d \simeq 9{,}5 \cdot 10^{12} \cdot 1.000$ m

$\therefore d \simeq 9{,}5\ 10^{15}$ m

3. Da lei de Hubble-Lemaître, temos:
$v = H_0 \cdot D \Rightarrow 384 = 74 \cdot D \Rightarrow D = \frac{384}{74}$
$\therefore D \simeq 5$ Mpc
Em quilômetro, temos:
$D \simeq 5 \cdot 3 \cdot 10^{19}$ km $\therefore D \simeq 1{,}5 \cdot 10^{20}$ km

4. Dada a distância dessa estrela à Terra em parsec e sabendo que 1 parsec equivale a aproximadamente 3,26 anos-luz e que 1 ano-luz equivale à 9.500.000.000.000 km, temos:
$d = 99$ pc $\Rightarrow d = 99 \cdot 3{,}26$ anos-luz $\Rightarrow$
$\Rightarrow d = 99 \cdot 3{,}26 \cdot 9.500.000.000.000$ km $\Rightarrow$
$\Rightarrow d = 322{,}74 \cdot 9{,}5 \cdot 10^{12}$ km $\therefore d \simeq 3{,}1 \cdot 10^{15}$ km

5. Alternativa **c**. Para as velocidades de intensidades baixas do dia a dia, como as velocidades de carros, de aviões e até de foguetes, por exemplo, as leis de Newton fornecem uma descrição precisa e útil dos fenômenos físicos. No entanto, à medida que velocidades de intensidades mais elevadas são atingidas, velocidades de intensidades próximas à da luz, as previsões feitas pela teoria da relatividade de Einstein são necessárias para descrever corretamente os efeitos observados. Portanto, o conceito de relatividade desenvolvido por Einstein é uma extensão e uma ampliação da Física newtoniana para velocidades de intensidades próximas à da luz.

6. Os postulados da teoria da relatividade restrita de Einstein são:
   - A intensidade da velocidade da luz no vácuo é constante, independentemente da velocidade da fonte de emissão, e é a mesma para todos os observadores, independentemente de seus referenciais. Esse é um princípio conhecido como invariância da intensidade da velocidade da luz.
   - As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais, isto é, em todos os sistemas de referência que estejam em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação uns aos outros. Esse é um princípio conhecido como princípio da relatividade.

7. Alternativa **c**. Na teoria da relatividade restrita de Einstein, dois conceitos estão relacionados ao movimento de objetos com velocidade relativa de intensidade comparável à da luz: a dilatação do tempo e a contração do comprimento.

Em foco

1. A Ciência é considerada uma construção humana porque ela é resultado do esforço coletivo de diversas pessoas ao longo da história, que se dedicaram a observar, a experimentar e sistematizar o conhecimento sobre o mundo natural. Além disso, a Ciência está inserida em contextos culturais e sociais específicos, o que significa que ela reflete sobre as perguntas, os interesses e as necessidades de diferentes sociedades. Embora apenas uma parte da população se dedique profissionalmente à pesquisa científica, a Ciência é uma atividade inerentemente colaborativa e depende do compartilhamento de ideias, métodos e descobertas.

2. A ciência cidadã é uma forma de colaboração entre cientistas profissionais e o público em geral, em que os cidadãos participam ativamente em diversas etapas do processo de pesquisa científica, como observação, coleta e análise de dados. Isso possibilita que qualquer pessoa, independentemente de formação acadêmica, contribua com o desenvolvimento do conhecimento científico. Um exemplo de ciência cidadã é o projeto *Galaxy Zoo*, em que voluntários ajudam a classificar imagens de galáxias obtidas por telescópios. Incentive os estudantes a pesquisar projetos de ciência cidadã na região onde vivem. Dependendo da comunidade, esses projetos podem incluir monitoramento ambiental, mapeamento de espécies, entre outros.

3. Resposta pessoal. A participação dos voluntários no projeto *Galaxy Zoo* foi fundamental para o sucesso do projeto. O grande volume de imagens obtidas pelos telescópios exigia uma enorme força de trabalho para a classificação, que não seria viável apenas com o número limitado de astrônomos profissionais. Se as atividades fossem restritas a esses cientistas, os resultados levariam muito mais tempo para ser alcançados ou poderiam nem mesmo ser possíveis, devido à demanda de análise.

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que as populações locais desempenham um papel importante em projetos de ciência cidadã voltados à conservação ambiental. Isso ocorre porque elas podem ter um conhecimento íntimo do ecossistema onde vivem, que pode incluir a percepção de mudanças sutis nas condições ambientais, nos padrões de comportamento das espécies ou em outras variáveis que podem passar despercebidas por pesquisadores externos. Esse conhecimento local pode complementar a análise científica formal, trazendo dados que seriam difíceis ou impossíveis de coletar em visitas breves ou esporádicas de pesquisadores.

Atividades de fechamento

1. **a.** Sendo d a distância, em metro, equivalente a 1 ano-luz, vem:
$d = c \cdot \Delta t \Rightarrow d \simeq 3{,}0 \cdot 10^8 \cdot 3{,}1 \cdot 10^7$
$\therefore d \simeq 9{,}3 \cdot 10^{15}$ m
b. Sendo D a distância entre Andrômeda e a Via Láctea, vem:
$D = 2{,}5 \cdot 10^6 \cdot d \Rightarrow D \simeq 2{,}5 \cdot 10^6 \cdot 9{,}3 \cdot 10^{15}$
$\therefore D \simeq 2{,}3 \cdot 10^{22}$ m

2. **a.** Da lei de Hubble-Lemaître, temos:
$v = H_0 \cdot D \Rightarrow H_0 = \frac{v}{D} = \frac{\frac{D}{t}}{D} \Rightarrow H_0 = \frac{1}{t}$
Em que t é a idade do Universo, em segundo.
Para determinar o valor de t para o menor valor da constante de Hubble, primeiro vamos converter 50 km em parsec.
Se 1 pc $\simeq 3 \cdot 10^{16}$ m, então: 1 km $\simeq 3{,}33 \cdot 10^{-14}$ pc
Portanto:
$H = 50 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \Rightarrow H \simeq 50 \cdot \frac{3{,}33 \cdot 10^{-14} \text{ pc}}{\text{s} \cdot 10^6 \text{ pc}}$
$\therefore H \simeq 1{,}66 \cdot 10^{-18}$ s^{-1}
Assim, para o menor valor da constante de Hubble, temos:
$H = \frac{1}{t} \Rightarrow \frac{1}{t} \simeq 1{,}66 \cdot 10^{-18}$ s^{-1}
$\therefore t \simeq 6{,}02 \cdot 10^{17}$ s ou $t \simeq 19{,}1 \cdot 10^9$ anos
Resolvendo de maneira análoga para o valor máximo da constante de Hubble, temos:
$H = 100 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \Rightarrow H \simeq 100 \cdot \frac{3{,}33 \cdot 10^{-14} \text{ pc}}{\text{s} \cdot 10^6 \text{ pc}}$
$\therefore H \simeq 3{,}32 \cdot 10^{-18}$ s^{-1}
Assim, para o maior valor da constante de Hubble, temos:
$H = \frac{1}{t} \Rightarrow \frac{1}{t} \simeq 3{,}32 \cdot 10^{-18}$ s^{-1}
$\therefore t \simeq 3{,}01 \cdot 10^{17}$ s ou $t \simeq 9{,}5 \cdot 10^9$ anos
b. Considerando que o valor mais aceito atualmente para a idade do Universo é aproximadamente $13{,}8 \cdot 10^9$ anos, podemos concluir que as idades têm a mesma ordem de

grandeza. Para um valor menor da constante de Hubble, a idade é um pouco maior, o que indica uma expansão um pouco mais lenta do Universo. Para um valor maior da constante de Hubble, a idade é um pouco menor, o que indica uma expansão um pouco mais rápida do Universo, ou seja, ele teria levado menos tempo para evoluir até o estado atual.

3. Alternativa **c**. A partir da equação de Hubble-Lemaître, temos:

$v = H \cdot d \Rightarrow 2{,}0 \cdot 10^8 = 15{,}3 \cdot 10^{-19} \cdot d \therefore d \simeq 1{,}3 \cdot 10^{26}$ m

Supondo uma velocidade de afastamento constante, pela definição de velocidade média, temos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 2{,}0 \cdot 10^8 = \frac{1{,}3 \cdot 10^{26}}{\Delta t} \therefore \Delta t \simeq 6{,}5 \cdot 10^{17} \text{ s}$$

Como 1 ano $\simeq 3{,}1 \cdot 10^7$ s, temos:

$$\Delta t \simeq 6{,}5 \cdot 10^{17} \text{ s} \Rightarrow \Delta t \simeq 6{,}5 \cdot 10^{17} \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ ano}}{3{,}1 \cdot 10^7 \text{ s}}$$

$\therefore \Delta t \simeq 2{,}1 \cdot 10^{10}$ anos

Portanto, a idade do Universo é da ordem de 10^{10} anos.

4. Alternativa **d**. Um dos postulados básicos da teoria da relatividade é de que as leis da Física são válidas em todos os referenciais inerciais, isto é, em todos os sistemas de referência que estejam em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação uns aos outros. Assim, se estabelece que não existe um sistema de referência inercial privilegiado.

5. Alternativa **c**.

I. Correta.

II. Correta.

III. Incorreta, pois, de acordo com o princípio da relatividade, as leis da natureza são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

6. **a.** De acordo com o enunciado, objetos que se movem com velocidade de intensidade v em relação a um referencial inercial têm o tempo dilatado por um fator γ. Uma dilatação do tempo de 0,5% corresponde a $\gamma = 1{,}005$. Observando a tabela, para $\gamma = 1{,}005$ temos $v = 0{,}100c$; logo:

$v = 0{,}100c \Rightarrow v = 0{,}100 \cdot 3 \cdot 10^8 \therefore v = 3 \cdot 10^7$ m/s

A intensidade da velocidade para que o tempo dilate apenas 0,5% é muito maior que as intensidades das velocidades dos objetos em nosso dia a dia. Logo, os efeitos da dilatação do tempo no dia a dia não são percebidos.

b. A dilatação do tempo é dada por: $\Delta t_{\text{repouso}} = \gamma \cdot \Delta t_{\text{movimento}}$

Da tabela, para $v = 0{,}600c$, temos $\gamma = 1{,}250$. Logo:

$\Delta t_{\text{repouso}} = 1{,}250 \cdot 10 \therefore \Delta t_{\text{repouso}} = 12{,}5$ min

7. Alternativa **e**.

I. Correta. Aplicando a equação do fator de Lorentz, temos:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0{,}998c)^2}{c^2}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}998^2}} \therefore \gamma \simeq 15{,}819$$

II. Correta. Calculando a distância, temos:

$\Delta s = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s = 0{,}998 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 30 \cdot 10^{-6}$

$\therefore \Delta s = 8.982$ m $\simeq 9.000$ m

III. Incorreta. Conforme o item anterior, a distância é aproximadamente 9.000 m.

IV. Correta. Os efeitos relativísticos podem ser observados para velocidades de intensidades próximas à da luz; o tempo e o espaço medidos são diferentes para observadores na Terra e para observadores em referenciais com velocidades de intensidades próximas à da luz (múon).

8. **a.** A escultura faz referência à teoria da relatividade geral, de acordo com a qual a gravidade é resultado das deformações no espaço-tempo causadas por corpos com massa.

b. De acordo com a teoria da relatividade geral, todos os corpos com massa presentes no Universo causam deformações no espaço-tempo, e, quanto maior a massa do corpo, maior é essa deformação. Portanto, as diferentes deformações do espaço-tempo representadas na escultura indicam que os corpos representados (planeta, lua, estrela e buraco negro) têm diferentes massas.

9. Quando observamos as estrelas e outros astros, estamos observando a luz emitida por esses corpos que estão muito distantes da Terra. Então, mesmo se propagando no vácuo com velocidade de intensidade $c \simeq 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s, a luz demora intervalos de tempo muito grandes para percorrer as distâncias entre esses astros e a Terra. Portanto, observamos os astros como eles eram quando emitiram a luz que chega até nós, ou seja, como eles eram no passado, e não como são agora. É possível que algumas estrelas que observamos hoje não existam mais.

A luz do Sol, a estrela mais próxima da Terra, leva cerca de 8 minutos para chegar até nós. Portanto, podemos dizer que, quando observamos o Sol, observamos como ele era 8 minutos atrás. A luz da estrela mais próxima do Sistema Solar, chamada Próxima Centauri, demora cerca de 4 anos para chegar até nós, e a luz da galáxia mais próxima, conhecida como galáxia anã do Cão Maior, demora cerca de 25.000 anos.

Capítulo 2 Estrelas e o Sistema Solar

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar diferentes modelos do Sistema Solar, propostos em épocas distintas.
- Interpretar e comunicar fatos da história da Ciência utilizando diferentes linguagens.
- Reconhecer as condições ambientais favoráveis para a vida na Terra.
- Analisar a evolução estelar, o modelo da distribuição de elementos químicos, sua relação com a formação de sistemas planetários e a possibilidade de vida como a conhecemos.
- Reconhecer modelos explicativos para avaliar e justificar conclusões a respeito da evolução de estrelas sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 3; 4; 5; 6; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT209; EM13CNT301

Sugestões didáticas

Para dar subsídios à abordagem didático-metodológica deste capítulo, sugerimos a leitura proposta na referência suplementar: MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3,

p. 283-306, 2002. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/562/355. Acesso em: 4 out. 2024. De maneira bastante sintética, podemos entender que as aulas de Ciências, em geral, têm a função de desenvolver conceitos científicos com os estudantes, por meio do processo de significação, isto é, da criação e do compartilhamento de significados que se iniciam na interação social para, em seguida, ser internalizados por cada estudante.

Como suporte para a aula e no auxílio para a identificação de corpos celestes, sugerimos a referência suplementar WOLF, A. *et al*. **Stellarium**: *software* de Astronomia. Versão 0.24.3. [*S. l.*], 22 set. 2024. Disponível em: https://stellarium.org/pt/. Acesso em: 2 nov. 2024. O *software* livre educativo funciona como um planetário. Com ele é possível observar o céu em diferentes partes do mundo, inserindo a latitude e a longitude de qualquer localização geográfica. Versões mais recentes possibilitam a exploração da superfície da Lua e dos planetas do Sistema Solar. Esse trabalho mobiliza a **competência geral 5** ao incentivar o uso de dispositivos digitais para a aprendizagem.

Ao analisar a evolução estelar, sua relação com a formação de sistemas planetários e a possibilidade de vida em exoplanetas, é possível o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT209**.

Ao estudar os conceitos sobre evolução estelar para elaborar explicações a respeito do estágio final de evolução de uma estrela, os estudantes desenvolverão as habilidades **EM13CNT209** e **EM13CNT301**. Solicite a eles que façam uma breve pesquisa sobre o processo de fusão nuclear e a formação de novos átomos.

É importante que os estudantes compreendam como os conceitos de evolução estelar se relacionam com o processo de formação e evolução do Sistema Solar.

Ao apresentar o tópico "Modelos geocêntrico e heliocêntrico", destaque que esse debate foi além do meio científico ao propor uma nova visão de mundo. Na época, tanto os cientistas como a Igreja Católica tiveram papel decisivo nas discussões sobre os modelos. Se desejar aprofundar esse tema e promover um trabalho interdisciplinar com História e Filosofia da Ciência, pode ser interessante a leitura da referência suplementar: PORTO, C. M. A Revolução Copernicana: aspectos históricos e epistemológicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, 2020. v. 42. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/fJNPZmsCN6ZXdJdKfwBDy5r/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 31 ago. 2024. Com base nesse texto, explore com os estudantes um pouco dessa história, o que são consideradas posições realistas e instrumentalistas da Ciência, bem como os impactos do desenvolvimento científico na sociedade. Essa estratégia favorece o desenvolvimento da **competência geral 1**, pois promove uma contextualização histórica e social, discutindo a compreensão e a explicação da natureza em diferentes épocas. A discussão sobre a formação do Sol e do Sistema Solar com base numa perspectiva histórica favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201** e da **competência geral 1**, ao apresentar conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo para entender e explicar a realidade.

O tópico "Zona habitável" e as atividades relacionadas possibilitam o trabalho com a habilidade **EM13CNT202**, ao propor o reconhecimento das condições ambientais favoráveis e das condições limitantes para que haja vida como a conhecemos na Terra e em outros planetas de diferentes sistemas planetários.

As seções **Atividade comentada** e **Na prática** se propõem a trabalhar o pensamento computacional. Se possível, desenvolva a seção **Na prática** de forma interdisciplinar, em conjunto com os professores de Língua Portuguesa e de Matemática, de modo que possam discutir a apresentação e as noções da linguagem de programação. Para realizar a atividade, a turma pode ser organizada em grupos. Considerando que o *Scratch* utiliza o plano cartesiano para a localização, é importante retomar os conceitos relacionados e aprofundá-los. O uso de um dispositivo eletrônico nessa atividade para programar a linguagem *Scratch*, se disponível, favorece o desenvolvimento da **competência geral 5**, pois coloca os estudantes em contato com dispositivos digitais, promovendo uma nova linguagem. No entanto, na organização dos grupos, considere o fato de que os estudantes podem ter diferentes níveis de conhecimento prévio, relacionado ao uso de computadores. Se alguns estudantes já exploraram por conta própria programações diversas, eles podem ter mais facilidade. Se isso ocorrer, incentive-os a formar grupos que sejam compostos de estudantes com conhecimentos prévios diversos, a fim de fomentar entre eles colaboração e trocas de experiências. Dessa forma, valorizam-se os princípios de convivência social, como o diálogo, o respeito à diversidade e o respeito às opiniões contrárias, e, portanto, desenvolve-se a **competência geral 9**. Ao se apropriarem do conhecimento, mesmo que básico, de como funciona uma linguagem de programação, os estudantes trabalham a **competência geral 2**. Depois que tiverem compreendido como a linguagem de programação visual funciona, você pode instigar os estudantes a refletir sobre a profissão do programador e questionar se eles têm interesse nessa área.

O trabalho com a seção **Trabalho e juventudes** pode ser iniciado explorando-se a relação entre empreendedorismo e as mudanças no mercado de trabalho. Pergunte aos estudantes como eles enxergam o trabalho no futuro e quais oportunidades acreditam que o empreendedorismo pode trazer nesse cenário. Em seguida, apresente o texto, destacando que o empreendedorismo não se restringe à criação de empresas, mas também está relacionado ao desenvolvimento de novas habilidades e à capacidade de inovar em diferentes áreas profissionais. Após a leitura do texto, organize a turma em grupos para discutir como o empreendedorismo pode influenciar a dinâmica do trabalho, considerando diferentes perfis de empreendedores mencionados, como jovens ativistas e empresários com projetos tecnológicos. Os estudantes podem identificar que, em um mercado de trabalho cada vez mais competitivo e tecnológico, as características empreendedoras, como inovação, persistência e planejamento, são essenciais para se destacar, seja criando um negócio próprio, seja atuando em empresas. Para conectar ainda mais o tema ao mundo do trabalho, promova um debate sobre as vantagens e os desafios de seguir uma carreira empreendedora *versus* uma carreira tradicional. Estimule os estudantes a refletir sobre a importância de habilidades como autonomia, resolução de problemas e capacidade de adaptação, que são cada vez mais valorizadas no mercado atual, independentemente da área de atuação. Em seguida, peça a eles que reflitam sobre suas próprias aspirações profissionais, incentivando-os a identificar habilidades empreendedoras que podem desenvolver para se destacar no mundo do trabalho. A partir disso, cada estudante ou grupo pode criar um pequeno projeto empreendedor, focado em uma necessidade que identificam na comunidade ou no ambiente escolar, e que demonstre como essas habilidades podem ser aplicadas em diferentes contextos profissionais. Proponha uma apresentação dos projetos e uma reflexão sobre como o desenvolvimento de características empreendedoras pode preparar os estudantes para os desafios e as oportunidades do futuro do trabalho. A avaliação pode incluir uma produção textual em que os estudantes analisam como o empreendedorismo contribui para a

criação de novas oportunidades de emprego e para a transformação do mercado de trabalho, enfatizando a importância de uma mentalidade inovadora e adaptável.

Atividade complementar

Oficina de programação com o Scratch

A atividade tem como objetivo aprofundar o conhecimento sobre a exploração do Sistema Solar e incentivar o desenvolvimento do pensamento computacional. Com toda a turma, organizem uma oficina na escola e divulguem a data do evento para a comunidade com antecedência. No dia da oficina, em que os estudantes atuarão como tutores, deverá ser proposto aos participantes um problema a ser resolvido por meio do uso do Scratch ou, mais amplamente, das linguagens de programação em bloco, a fim de desmistificar a ideia de que programar é algo difícil e restrito aos profissionais da área. Para isso, podem ser utilizados computadores, telefones celulares ou *tablets* com acesso à internet, se disponíveis; caso a escola não disponha desses recursos, a atividade pode ser desenvolvida de forma desplugada, por meio da construção de um cenário com os principais comandos da linguagem de programação do Scratch (evento, movimento e controle) em EVA de diferentes cores. As peças podem ser coladas na parede com o auxílio de fita adesiva. O desenho das peças como as da plataforma digital permite que elas se encaixem, evidenciando a sequência de ações (algoritmo) que leva à resolução do problema proposto.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A principal fonte de energia das estrelas é a fusão nuclear de elementos químicos leves em elementos químicos mais pesados, como a fusão de átomos de hidrogênio em átomos de hélio que ocorre no interior do Sol, liberando energia.
2. O processo evolutivo de uma estrela depende da sua massa. À medida que o núcleo da estrela queima seu combustível por meio de reações nucleares, a força gravitacional faz a estrela contrair, elevando a temperatura do núcleo e dando início à fusão de outros elementos químicos mais pesados. Nesse processo, a estrela passa por fases diferentes, em que as reações de fusão nuclear geram elementos químicos cada vez mais pesados. Dependendo da massa inicial da estrela, em determinada fase, as reações de fusão nuclear não produzem energia suficiente para manter a estrutura da estrela estável e ela colapsa devido à força gravitacional. Estrelas de menor massa, entre 0,5 e 8 massas solares, podem se tornar anãs brancas ao final de sua vida, enquanto estrelas com massas maiores que 8 massas solares podem explodir em supernovas ou dar origem a um buraco negro.
3. Quando o Sol encerrar o processo de fusão de hidrogênio em hélio, em cerca de 5 bilhões de anos, ele se tornará uma gigante vermelha e iniciará a fusão de hélio em carbono. Quando a fusão do hélio se encerrar, como a temperatura no núcleo da estrela não atingirá o valor necessário para que ocorra a fusão do carbono, ela se tornará instável e suas camadas exteriores serão expelidas, restando apenas o núcleo compacto de carbono, que chamamos de anã branca, e uma estrutura gasosa ao seu redor. Essa configuração final é chamada de nebulosa planetária. Os cientistas esperam que o Sol forme uma nebulosa planetária no final de sua vida.
4. O modelo geocêntrico tem a Terra no centro do Sistema Solar e o heliocêntrico tem o Sol no centro.
5. De acordo com a hipótese da nebulosa solar primitiva, o Sistema Solar se formou a partir de uma nuvem gigante de gás e poeira há 4,6 bilhões de anos. Sob a ação da gravidade, a nuvem de gás e poeira começou a colapsar, fazendo com que o material, aquecido durante o processo, se acumulasse na região central. Com o tempo, a pressão e a temperatura na região central da nuvem começaram a aumentar de tal maneira que ela passou a brilhar, formando o embrião do Sol ou protossol. À medida que a nebulosa diminuiu de tamanho, parte do material formou um disco de gás e poeira ao redor do protossol. Nesse disco, iniciou-se o processo de acreção, em que grãos de poeira colidiram formando aglomerados de matéria com massas cada vez maiores, até formar os protoplanetas. Esses protoplanetas continuaram a crescer por acreção, eventualmente dando origem aos planetas do Sistema Solar. Com o tempo, tanto o protossol como os protoplanetas limparam seus arredores agregando corpos menores presentes na região, que começou a se assemelhar à forma atual do Sistema Solar. Quando o centro do protossol atingiu a temperatura de 15 milhões de graus Celsius, começou o processo de fusão nuclear, que determinou o nascimento do Sol. A matéria que não colidiu na formação do Sol e dos planetas ficou aglutinada nos asteroides e cometas; grande parte dela ficou concentrada no cinturão de Kuiper e na nuvem de Oort. É importante destacar que todo esse processo durou milhões de anos.
6. Zona habitável ou zona de habitabilidade é uma região do espaço, ao redor da estrela de um sistema planetário, onde pode haver um planeta cuja temperatura possibilite a existência de água líquida em sua superfície e, potencialmente, vida como a conhecemos. As fronteiras da zona habitável são definidas pela possibilidade de existência de água no estado líquido. Se um planeta estiver muito perto da estrela, a temperatura será muito alta e a água estará em forma de vapor. Se um planeta estiver muito distante da estrela, a temperatura será muito baixa e a água estará congelada.

Em foco

1. De acordo com o texto, a visão de mundo de um observador é influenciada pelos referenciais geográficos, históricos, sociais e culturais que moldam sua percepção da realidade.
2. A observação dos fenômenos celestes ajuda a compreender a passagem do tempo, que influencia diretamente suas atividades diárias, como caça, coleta de produtos disponíveis no ambiente e cultivo de diferentes produtos agrícolas.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes percebam que tanto a cosmovisão dos Kayapó quanto o modelo geocêntrico baseam-se no ponto de vista do observador, ou seja, o observador "no centro" percebe o movimento dos astros ao seu redor, enquanto está "parado".
4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem a Etnoastronomia e a Arqueoastronomia como meios para acessar saberes de diferentes culturas, ampliar e validar outras visões de mundo.

Trabalho e juventudes

1. Comente com os estudantes a relação entre o avanço do empreendedorismo no Brasil e o nível de escolaridade.

Empreender não é simples, exige muito estudo, pesquisa e trabalho. Pesquisadores apontam que o risco de um empreendimento não ser bem-sucedido aumenta quando o jovem interrompe os estudos para empreender.

Com base na reflexão levantada, espera-se que os estudantes compreendam que a escola deve ser um espaço que atenda às necessidades de formação geral, desenvolvendo habilidades e conteúdos teóricos da grade curricular. Desse modo, colabora para a inserção do jovem no mundo do trabalho, acolhendo as juventudes e apoiando a construção de seus projetos de vida.

2. Resposta pessoal. Com base nas questões levantadas, espera-se que os estudantes exponham diferentes projetos empreendedores que aplicam conhecimentos científico-tecnológicos em seus produtos ou serviços.

3. **a.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes escolham as características que eles ainda não apresentem ou que apresentem de forma incipiente e julguem essenciais para alcançar bons resultados, caso pensem em ser empreendedores. É importante que eles percebam que, mesmo não tendo a intenção de empreender, as características citadas no texto são relevantes para ter sucesso no mercado de trabalho de modo geral.

   b. Resposta pessoal. Uma estratégia para desenvolver ou fortalecer as características escolhidas é pensar em ações que podem ser realizadas para alcançar esse objetivo e determinar um prazo para a realização. Sugira aos estudantes que registrem e organizem essas informações em um quadro.

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes consigam propor uma solução criativa ao identificar uma situação específica ou um problema em sua comunidade. Utilizamos as informações do texto sobre a *startup* que pretende instalar *data centers* na Lua para responder aos questionamentos propostos, que podem ser usados como exemplo para a turma.

   A falta de segurança no processamento e no armazenamento dos dados gerados por empresas e governos.

   O serviço consiste em instalar *data centers* na Lua para o processamento e o armazenamento dos dados.

   O público-alvo será empresas e governos. Os extremos causados pelas mudanças climáticas e os ataques *hackers* ameaçam os dados hoje armazenados nos *data centers* na Terra.

   As informações apresentadas no texto, como a seca do rio Reno, na Alemanha, faltando água para a refrigeração dos centros de dados, e os 43 milhões de ataques de *hackers* registrados na Europa, afirmam a necessidade de garantir a segurança do processamento e armazenamento de dados.

   Para a implementação do produto é necessário realizar testes com *data centers* no espaço, enviar dados em um protótipo para testar a capacidade de armazenamento e transferência de informação da Lua à Terra, testar a segurança do *software* e da tecnologia utilizada na operação. Além disso, para lançar os *data centers* à Lua, é necessário realizar parcerias com empresas do segmento aeroespacial.

   Com base nos comentários dos potenciais clientes, será possível perceber as necessidades de melhorias em relação ao serviço oferecido.

Na prática

1. Para a construção do algoritmo próprio é imprescindível que os estudantes reconheçam a importância da ordem de cada comando para que a nave se desloque primeiro da Terra para Lua e de volta à Terra. Desse modo, caso as coordenadas se tornem um complicador, nesse caso, elas podem ser substituídas por valores genéricos mais simples, como "posição da Terra" e "posição da Lua" ou outro modo que os estudantes acharem mais conveniente. No caso de a atividade ser realizada de forma desplugada, posicione a Terra e a Lua em uma malha quadriculada e peça aos estudantes que construam o algoritmo apenas com comandos relacionados à direção e ao sentido de movimento, como para cima, para baixo, esquerda e direita.

2. Ao deixar a escolha de alguns parâmetros livre para os estudantes, como a posição de cada corpo celeste sugerida no item anterior, os algoritmos devem variar bastante. Aproveite esse momento para que os estudantes interajam entre si, inclusive com a correção dos algoritmos feitos pelos outros grupos.

3. Uma sugestão é pedir aos grupos que usem os comandos e a definição de posições determinados pelos outros grupos.

4. A decomposição pode ser identificada ao escrever e planejar a viagem em dois trajetos; a abstração pode ser identificada ao reconhecer que as instruções relacionadas ao movimento são as mais importantes; o reconhecimento de padrões pode ser identificado ao se usar instruções semelhantes em cada trajeto percorrido; e, por último, o algoritmo será o passo a passo final construído pelos estudantes para levar a nave da Terra à Lua e de volta para a Terra.

Atividades de fechamento

1. **01.** Correta.

   02. Correta.

   04. Incorreta. Os planetas internos são rochosos e os externos, gasosos.

   08. Incorreta. Os planetas mais próximos do Sol são os menores do Sistema Solar, enquanto os mais afastados são os maiores.

   Resposta: 01 + 02 = 03

2. **a.** $\frac{1{,}5 \cdot 10^8\ \text{km}}{9{,}5 \cdot 10^{12}\ \text{km}} \simeq 1{,}6 \cdot 10^{-5}$

   Logo: 1 ua $\simeq 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ anos-luz

   b. $\frac{1{,}5 \cdot 10^8\ \text{m}}{3 \cdot 10^{16}\ \text{m}} \simeq 4{,}9 \cdot 10^{-6}$

   Logo: 1 ua $\simeq 4{,}9 \cdot 10^{-6}$ parsecs

3. A distância percorrida pela luz do Sol até a Terra é Δs, tal que:

   $\Delta s \simeq 150 \cdot 10^6\ \text{km} = 150 \cdot 10^6 \cdot 10^3\ \text{m} \therefore \Delta s \simeq 1{,}5 \cdot 10^{11}\ \text{m}$

   Levando-se em conta que a luz se propaga em movimento uniforme (velocidade de intensidade constante), o intervalo de tempo Δt pedido é dado por:

   $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} \simeq \frac{1{,}5 \cdot 10^{11}\ \text{m}}{3{,}0 \cdot 10^8\ \text{m/s}}$

   $\therefore \Delta t \simeq 5{,}0 \cdot 10^2\ \text{s} = 500\ \text{s}$ ou $\Delta t \simeq 8\ \text{min}\ 20\ \text{s}$

4. **a.** Não. Pelo diagrama é possível verificar que o planeta estaria localizado à direita da região de zona habitável.

   b. Não, pois a temperatura na superfície do planeta será muito baixa; portanto, a água não se manterá no estado líquido.

   c. A água no estado líquido é essencial para a manutenção da vida como a conhecemos.

   d. Várias características do planeta seriam diferentes, como temperatura média, pressão atmosférica, composição dos gases da atmosfera, entre outros. Como diversas

formas de vida dependem dessas características, a existência delas seria afetada.

5. Alternativa **e**. À temperatura de −55°C, a água em Marte estaria no estado sólido.
6. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes relacionem algumas das tecnologias, dos produtos ou dos serviços pesquisados com itens que fazem parte de sua rotina e reflitam sobre como a exploração espacial tem impacto na vida das pessoas. A exploração espacial impulsiona a criação de tecnologias, produtos e serviços essenciais para o desenvolvimento social e econômico, modificando o modo como vivemos.
7. **a.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre as implicações econômicas e sociais da exploração espacial por meio da análise de evidências e da construção de argumentos, a favor e contra.
   b. Mais investe: Estados Unidos; menos investe: Myanmar.
   c. O Brasil é o segundo país da América Latina com maior investimento governamental em programas espaciais; na região, a Argentina é o país que mais investe.

Capítulo 3 Estudo escalar do movimento

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito do movimento unidimensional de diversos corpos aplicando conceitos e equações da Física.
- Analisar questões e elaborar hipóteses com base em modelos explicativos que permitam descrever movimentos em uma dimensão e obter conclusões sobre situações-problema numa perspectiva científica.
- Reconhecer as grandezas e as unidades de medida utilizadas na descrição do movimento dos corpos e interpretar gráficos que envolvam essas grandezas.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 7
- **Habilidade de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301
- **Habilidades de Matemática e suas Tecnologias:** EM13MAT103 (Interpretar e compreender textos científicos ou divulgados pelas mídias, que empregam unidades de medida de diferentes grandezas e as conversões possíveis entre elas, adotadas ou não pelo Sistema Internacional (SI), como as de armazenamento e velocidade de transferência de dados, ligadas aos avanços tecnológicos.); EM13MAT301 (Resolver e elaborar problemas do cotidiano, da Matemática e de outras áreas do conhecimento, que envolvem equações lineares simultâneas, usando técnicas algébricas e gráficas, com ou sem apoio de tecnologias digitais.)
- **Habilidades de Língua Portuguesa:** EF67LP16 (Explorar e analisar espaços de reclamação de direitos e de envio de solicitações (tais como ouvidorias, SAC, canais ligados a órgãos públicos, plataformas do consumidor, plataformas de reclamação), bem como de textos pertencentes a gêneros que circulam nesses espaços, reclamação ou carta de reclamação, solicitação ou carta de solicitação, como forma de ampliar as possibilidades de produção desses textos em casos que remetam a reivindicações que envolvam a escola, a comunidade ou algum de seus membros como forma de se engajar na busca de solução de problemas pessoais, dos outros e coletivos.); EF69LP24 (Discutir casos, reais ou simulações, submetidos a juízo, que envolvam (supostos) desrespeitos a artigos, do ECA, do Código de Defesa do Consumidor, do Código Nacional de Trânsito, de regulamentações do mercado publicitário etc., como forma de criar familiaridade com textos legais – seu vocabulário, formas de organização, marcas de estilo etc. –, de maneira a facilitar a compreensão de leis, fortalecer a defesa de direitos, fomentar a escrita de textos normativos (se e quando isso for necessário) e possibilitar a compreensão do caráter interpretativo das leis e as várias perspectivas que podem estar em jogo.)

Sugestões didáticas

A descrição dos movimentos unidimensionais é uma descrição essencialmente matemática, o que exige o domínio de conceitos como funções de 1º e de 2º grau e da análise de gráficos. Por isso, o trabalho com o professor do componente curricular Matemática pode ser benéfico aos estudantes.

O início da abordagem desse capítulo poderá partir de alguma situação concreta, em que a previsão sobre o movimento de determinado objeto seja importante.

Incentive os estudantes a elaborar exemplos em que um objeto pode ser considerado parado, em repouso, ou em movimento, dependendo do referencial adotado.

Nesse contexto, a referência suplementar a seguir apresenta aspectos históricos e conceituais para orientar o trabalho. OLIVEIRA, A. Movimento e repouso. **Revista Ciência Hoje**, 19 dez. 2014. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/coluna/movimento-e-repouso/. Acesso em: 5 set. 2024. O artigo traz a ideia de movimento relativo e faz uma breve discussão de alguns aspectos da transitoriedade dos conceitos científicos ao apresentar como a ideia de inércia foi se alterando entre os trabalhos de Galileu e de Newton.

No tópico "Deslocamento, velocidade e aceleração escalares", discuta como o conceito de velocidade pode ser aplicado em situações do cotidiano e no desenvolvimento de dispositivos como o velocímetro de um veículo e os radares de velocidade. Além disso, você pode comentar com os estudantes por que usamos quilômetro por hora (km/h) como unidade de medida de velocidade, tendo em vista que, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida é metro por segundo (m/s). Partindo desse comentário, apresente o procedimento de conversão de km/h para m/s e de m/s para km/h. Esse aspecto contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT103**, ao propor aos estudantes que interpretem e compreendam o emprego de unidades de medida de diferentes grandezas e as conversões possíveis entre elas, adotadas ou não pelo SI.

Na seção **Em foco**, trabalhe com os estudantes a padronização das unidades de medida, como exemplificado pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), essencial para garantir consistência e precisão em medições, facilitando a comunicação e a cooperação científica e comercial em escala global. Explique como isso impacta a vida cotidiana e a importância dessa padronização para o consumidor e a economia. Além disso, se achar conveniente, você pode promover um trabalho interdisciplinar com Língua Portuguesa, discutindo a aplicação do Código de Defesa do Consumidor. Incentive os estudantes a compartilhar experiências de desrespeito às normas de medição e oriente-os a pesquisar canais de reclamação e direitos do consumidor, como ouvidorias e SACs, promovendo, assim, uma consciência cidadã ativa. Essa atividade favorece o desenvolvimento das

habilidades **EF67LP16** e **EF69LP24** ao promover a discussão sobre o campo de atuação na vida pública dos estudantes.

Iniciando o tópico "Movimento uniforme (MU)", peça aos estudantes que discutam como são feitas as previsões de chegada de trens e ônibus do transporte público urbano e como elas podem ser feitas em relação ao movimento dos corpos em geral, como acontece, por exemplo, com os aplicativos de trânsito, que conseguem estimar o tempo de chegada, considerando até eventuais congestionamentos.

Ao propor a elaboração de explicações, previsões e cálculos a respeito do movimento unidimensional de diversos corpos na Terra, é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT204**, e a análise de questões, elaboração de hipóteses e de previsões por meio de modelos explicativos que permitem descrever movimentos em uma dimensão favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Se julgar necessário, retome os conceitos de trigonometria e de funções gráficas que estão envolvidos na interpretação adequada dos gráficos. Esse momento favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT301**, uma vez que requer o uso de técnicas algébricas e gráficas para a resolução de problemas sobre movimento dos corpos.

O desenvolvimento da seção **Na prática** permitirá aos estudantes visualizar e reforçar o aprendizado teórico por meio da experimentação, contribuindo para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Os referenciais para o *skatista* podem ser: repouso (o *skatista* estará em repouso em relação ao próprio *skate* ou a outro *skatista* que esteja se movendo exatamente na mesma velocidade e direção) ou movimento (o *skatista* estará em movimento em relação a uma pessoa parada no parque ou em relação a uma árvore fixa no local). O movimento é considerado relativo porque depende do referencial adotado para a observação. Isso significa que um objeto pode parecer em movimento quando comparado a um referencial, mas em repouso em relação a outro. No caso do *skatista*, ele pode estar em movimento em relação a uma pessoa parada, mas em repouso em relação ao *skate*, que se move com ele. Portanto, a percepção do movimento varia conforme o ponto de vista do observador.

2. **a.** A velocidade escalar, em m/s, no instante em que as gotículas são ejetadas é:

$v_0 = 108 \text{ km/h} \Rightarrow v_0 = \frac{108}{3,6} \text{ m/s} \therefore v_0 = 30 \text{ m/s}$

b. O módulo da aceleração escalar média dessas gotículas durante o espirro é dado por:

$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{0 - 30}{0,1} \Rightarrow a_m = -300$

$\therefore |a_m| = 300 \text{ m/s}^2$

3. Isso vai depender da orientação dada à trajetória da borracha. Se definirmos que o sentido positivo é para cima, o movimento ascendente será progressivo e o descendente, retrógrado. Caso contrário, essas caracterizações se invertem.

4. **a.** O espaçamento entre as bolinhas. O movimento é uniforme porque, de acordo com a fotografia de múltipla exposição, a bolinha percorreu espaços iguais em intervalos de tempo iguais, definidos na operação da máquina fotográfica que produziu a sequência de fotogramas.

b. A bolinha percorreu distâncias iguais em intervalos de tempo iguais. A aceleração escalar da bolinha é nula.

5. Vamos converter primeiro o citado intervalo de tempo em hora: $\Delta t = 20 \text{ min} = \frac{1}{3} \text{ h}$

Calculemos agora a referida distância.

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta s = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s = 28.000 \cdot \frac{1}{3}$

$\therefore \Delta s \simeq 9.333 \text{ km}$

6. **a.** Dada a função horária do espaço, o espaço inicial é 100 m e a velocidade escalar é −20 m/s.

b. A origem dos espaços é caracterizada por $s = 0$; logo:

$0 = 100 - 20t \Rightarrow 20t = 100 \Rightarrow t = \frac{100}{20} \therefore t = 5,0 \text{ s}$

c. Para determinar t quando $s = 60$ m, temos:

$60 = 100 - 20t \Rightarrow 20t = 100 - 60 \Rightarrow$

$\Rightarrow 20t = 40 \Rightarrow t = \frac{40}{20} \therefore t = 2,0 \text{ s}$

7. **a.** Declividade da curva no gráfico do espaço em função do tempo (tg θ): velocidade escalar.

b. Área compreendida entre a curva e o eixo do tempo no gráfico da velocidade escalar em função do tempo: variação do espaço (ou deslocamento escalar).

8. **a.** Para o cálculo do módulo da aceleração escalar adquirida pelo carrinho, temos:

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow a = \frac{(2,0 - 1,0)}{(1,0 - 0,5)} \Rightarrow a = \frac{1,0}{0,5}$

$\therefore a = 2,0 \text{ m/s}^2$

O módulo da aceleração escalar do carrinho também poderia ser obtido pela declividade da reta (tg θ).

b. Aplicando a equação de Torricelli ao intervalo de tempo citado, temos:

$v_2^2 = v_1^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow$

$\Rightarrow (2,0)^2 = (1,0)^2 + 2 \cdot 2,0 \cdot \Delta s \Rightarrow$

$\Rightarrow 4,0 - 1,0 = 4,0 \cdot \Delta s \Rightarrow 3,0 = 4,0 \cdot \Delta s \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta s = \frac{3,0}{4,0} \therefore \Delta s = 0,75 \text{ m}$

A distância percorrida também poderia ser calculada pela área do trapézio compreendido entre o gráfico e o eixo do tempo.

9. **a.** Trata-se de um MUV, já que a aceleração escalar é constante e não nula. Aplicando-se a função horária da velocidade escalar, vem:

$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + 4 \cdot 20 \therefore v = 80 \text{ m/s}$

Convertendo em km/h, temos:

$v = 80 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} \therefore v = 288 \text{ km/h}$

b. Aplicando-se a equação horária do espaço, vem:

$\Delta s = v_0 t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \Rightarrow \Delta s = 0 + \frac{4,0}{2} \cdot (20)^2 \therefore \Delta s = 800 \text{ m}$

10. **a.** A queda livre do gato é um MUV com a aceleração escalar igual à da gravidade; logo:

$\Delta s = v_0 t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \Rightarrow H = \frac{g}{2} \cdot T^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow T = \sqrt{\frac{2H}{g}} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2}{10}} \Rightarrow$

$\Rightarrow T = \sqrt{0,64} \therefore T = 0,8 \text{ s}$

b. Podemos aplicar a função horária da velocidade escalar ou a equação de Torricelli.

$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + 10 \cdot 0,8 \therefore v = 8,0 \text{ m/s}$

Em foco

1. O Sistema Internacional de Unidades (SI) contribui significativamente para a precisão e a confiabilidade das medições,

estabelecendo padrões globais que permitem que as medições realizadas em diferentes partes do mundo sejam comparáveis e consistentes. Isso facilita a comunicação e o intercâmbio de informações científicas e tecnológicas, além de garantir a uniformidade nas práticas industriais e comerciais.

2. Respostas possíveis: metro (unidade de base do SI associada às medidas de comprimento, altura, distância, entre outras); grau Celsius (unidade derivada do SI associada às medidas de temperatura Celsius); quilograma (unidade de base do SI associada às medidas de massa). Comente com os estudantes que, além das unidades de base e das unidades derivadas do SI, existem outras unidades de medida que são aceitas para uso com as unidades do SI. Por exemplo: litro (L) – unidade de medida de volume; minuto (min) – unidade de medida de tempo; tonelada (t) – unidade de medida de massa; unidade astronômica (ua) – unidade de medida de comprimento. Unidades de medida como o centímetro (cm), o miligrama (mg) e a megatonelada (Mt), por exemplo, são alguns dos múltiplos (Mt) e submúltiplos (cm; mg) decimais das unidades do SI, formados por um prefixo do SI seguido do nome ou do símbolo da unidade de medida.

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que a padronização das unidades de medida é importante para que o consumidor possa avaliar e comparar a qualidade e a quantidade de produtos, materiais e serviços; no consumo de alimentos, roupas, medicamentos, água, eletricidade e combustível, por exemplo. Unidades de medida padronizadas permitem aos consumidores comparar e compreender as características de produtos de forma eficaz, possibilitando que tomem decisões informadas sobre o que consomem. Além disso, a padronização das unidades de medida ajuda a garantir práticas seguras de comércio, o cumprimento de normas (por exemplo: limites de emissão de poluentes pelos automóveis; limites de velocidade) e a proteção dos direitos do consumidor.

Na prática

1. Como as três distâncias iguais foram percorridas em intervalos de tempo praticamente iguais, podemos concluir que o movimento das bolinhas é uniforme. Isso significa que a velocidade escalar das bolinhas se mantém constante ao longo dos três trechos.

2. Para determinar as velocidades escalares médias das bolinhas, devemos dividir cada um dos deslocamentos (distâncias percorridas) pelos respectivos intervalos de tempo. Como as distâncias e os intervalos de tempo são praticamente iguais, as velocidades escalares médias calculadas para os três trechos serão praticamente as mesmas, confirmando que o movimento é uniforme.

3. Espera-se que os estudantes sejam capazes de, com os dados coletados dos instantes de tempo e as posições das bolinhas, calcular a velocidade escalar para cada trecho utilizando a fórmula $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, em que Δs é a variação de espaço (distância percorrida) e Δt é o intervalo de tempo. Supondo que as distâncias percorridas em cada trecho sejam iguais e que os tempos sejam quase iguais, as velocidades escalares para cada trecho também serão aproximadamente iguais. As funções horárias do espaço para cada trecho podem ser expressas na forma $s(t) = s_0 + vt$, em que s_0 é a posição inicial (que varia conforme o trecho), v é a velocidade escalar e t é o tempo.

4. Se as bolinhas de gude fossem substituídas por bolinhas de aço maciças e ligeiramente maiores, notaríamos que as novas bolinhas se moveriam mais rapidamente devido à sua maior massa, o que pode resultar em velocidades escalares médias maiores ao longo dos mesmos trechos. Além disso, a resistência ao rolamento e outros fatores como atrito podem ser diferentes, afetando o movimento das bolinhas de aço.

Atividades de fechamento

1. Sendo $\Delta s = 36$ km $= 36.000$ m e $\Delta t = 4$ min $+ 20$ s $= 260$ s, determina-se a velocidade escalar média pedida; dessa forma, temos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{36.000 \text{ m}}{260 \text{ s}} \therefore v_m \simeq 138 \text{ m/s}$$

2. **a.** Segundo o texto, a viagem do Ártico à Antártica ocorre durante o outono do Hemisfério Norte, o que equivale a três meses.

Assim, com $\Delta s = 40.000$ km e $\Delta t = 3 \cdot 30 \cdot 24$ h $= 2.160$ h, obtém-se a velocidade escalar média.

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{40.000}{2.160} \therefore v_m \simeq 18{,}5 \text{ km/h}$$

b. A aceleração escalar média no intervalo de tempo $\Delta t = 20$ s fica determinada por:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{(15 - 5{,}0)}{20} \Rightarrow a_m = \frac{10}{20}$$
$$\therefore a_m = 0{,}5 \text{ m/s}^2$$

3. Sendo $\Delta s = 54{,}6 \cdot 10^6$ km $= 54{,}6 \cdot 10^9$ m e $v = 3 \cdot 10^8$ m/s, determina-se o intervalo de tempo para essa imagem chegar à Terra.

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} \Rightarrow \Delta t = \frac{54{,}6 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \Rightarrow \Delta t = 18{,}2 \cdot 10$$

$\therefore \Delta t = 182$ s ou $\Delta t \simeq 3$ min 2 s

4. O comprimento total do comboio é L, calculado por:

$L = 2L_L + 48L_V \Rightarrow L = 2 \cdot 10 + 48 \cdot 10 \therefore L = 500$ m

$v_T = 54$ km/h $\therefore v_T = \frac{54}{3{,}6}$ m/s $= 15$ m/s

A travessia se inicia no instante em que a frente da primeira locomotiva adentra o túnel e termina quando a traseira do último vagão da composição deixa o túnel. Isso implica que o trem sofre um deslocamento total, Δs_T, dado por:

$\Delta s_T = L + C \Rightarrow \Delta s_T = 500 + 400 \therefore \Delta s_T = 900$ m

Cálculo do intervalo de tempo gasto na travessia, Δt_T:

$$v_T = \frac{\Delta s_T}{\Delta t_T} \Rightarrow 15 = \frac{900}{\Delta t_T} \therefore \Delta t_T = 60 \text{ s} = 1{,}0 \text{ min}$$

5. **a.** Para o instante do encontro dos dois ciclistas, bem como a posição na ciclovia em que ocorre esse encontro, temos:

$v_A = 18$ km/h $\therefore v_A = \frac{18}{3{,}6}$ m/s $= 5{,}0$ m/s

$v_B = 5{,}4$ km/h $\therefore v_B = \frac{5{,}4}{3{,}6}$ m/s $= 1{,}5$ m/s

Para o cálculo do instante do encontro, temos:

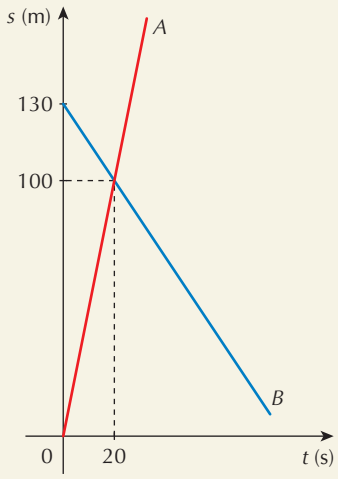
$$v_{\text{relativa}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = 5{,}0 + 1{,}5 \Rightarrow 6{,}5 = \frac{130}{t_E} \therefore t_E = 20 \text{ s}$$

Para o cálculo da posição do encontro, temos:

$s_1 = s_{0_1} + v_1 t \Rightarrow s_E = 0 + 5{,}0 \cdot 20 \therefore s_E = 100$ m

b. Os dois gráficos serão retas oblíquas típicas do MU. Deve-se observar que o movimento do ciclista *A* é progressivo, enquanto o do ciclista *B* é retrógrado.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



6. Primeiro, convertemos as velocidades de km/h para m/s.

$v_A = \frac{108}{3,6}$ m/s = 30 m/s e $v_B = \frac{72}{3,6}$ m/s = 20 m/s

a. Agora, quando os carros trafegam no mesmo sentido, temos:

$|v_{relativa}| = \frac{|\Delta s|}{\Delta t} \Rightarrow 30 - 20 = \frac{2.000}{\Delta t} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta t = \frac{2.000}{10} \therefore \Delta t = 200$ s

$\Delta s_A = v_A \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s_A = 30 \cdot 200$

$\therefore \Delta s_A = 6.000$ m = 6 km

b. Quando os carros trafegam em sentidos opostos, temos:

$|v_{relativa}| = \frac{|\Delta s|}{\Delta t} \Rightarrow 30 + 20 = \frac{2.000}{\Delta t} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta t = \frac{2.000}{50} \therefore \Delta t = 40$ s

$\Delta s_A = v_A \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s_A = 30 \cdot 40$

$\therefore \Delta s_A = 1.200$ m = 1,2 km

7. **a.** As funções horárias dos dois movimentos uniformes são do tipo: $s = s_0 + vt$

Para Juliana:

$s_{0_J} = 0$ e $v_J = \frac{\Delta s_J}{\Delta t_J} = \frac{30,0 \text{ m}}{5,0 \text{ s}} \therefore v_J = 6,0$ m/s

Assim: $s_{0_J} = 6,0t$ (SI)

Para Bolo, temos:

$s_{0_B} = 12,0$ m e $v_B = \frac{\Delta s_B}{\Delta t_B} \Rightarrow v_B = \frac{30,0 \text{ m} - 12 \text{ m}}{4,0 \text{ s}}$

$\therefore v_B = 4,5$ m/s

Logo, no instante t_E do encontro, Juliana e Bolo terão espaços iguais nas respectivas trajetórias, isto é, $s_J = s_B$; assim:

$6,0t_E = 12,0 + 4,5t_E \Rightarrow 1,5t_E = 12,0 \therefore t_E = 8,0$ s

b. A distância D pedida pode ser calculada fazendo-se:

$\Delta s_B = 4,5t \Rightarrow D = 4,5t_E \Rightarrow$

$\Rightarrow D = 4,5 \cdot 8,0 \therefore D = 36,0$ m

8. Trata-se de um MUV, já que a aceleração escalar é constante e não nula.

a. Aplicando a função horária da velocidade escalar, vem:

$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + 8,0 \cdot 15 \therefore v = 120$ m/s

Convertendo em km/h, temos:

$v = 120 \cdot 3,6$ km/h $\therefore v = 432$ km/h

b. Aplicando a equação horária do espaço, vem:

$\Delta s = v_0 t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \Rightarrow \Delta s = 0 + \frac{8,0}{2} \cdot (15)^2 \therefore \Delta s = 900$ m

9. **a.** Convertendo a velocidade de km/h para m/s, temos:

$v_0 = 72$ km/h $= \frac{72}{3,6}$ m/s $\therefore v_0 = 20$ m/s

A área do trapézio compreendido entre a curva do gráfico e o eixo é numericamente igual à distância D; assim:

$A \overset{N}{=} D \Rightarrow \frac{(10 + T) \cdot 20}{2} = 104 \Rightarrow$

$\Rightarrow 10 + T = 10,4 \therefore T = 0,4$ s

b. A aceleração escalar de retardamento fica determinada por:

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{0 - 20}{10 - 0,4} = -\frac{20}{9,6} \therefore |a| \simeq 2,1$ m/s²

10. **a.** Ana e Bruno empataram, pois, durante os 16,0 s, percorreram distâncias iguais. De fato:

$D_{Ana} = D_{Bruno} \overset{N}{=} A = \frac{16,0 \cdot 20,0}{2} \therefore D_{Ana} = D_{Bruno} = 160$ m

b. As velocidades escalares médias de Ana e de Bruno durante os 16,0 s foram iguais, sendo dadas por:

$v_{m_{Ana}} = v_{m_{Bruno}} = \frac{D}{T} \Rightarrow v_{m_{Ana}} = v_{m_{Bruno}} = \frac{160}{16,0}$

$\therefore v_{m_{Ana}} = v_{m_{Bruno}} = 10,0$ m/s

c. Conforme o diagrama, as velocidades escalares de Ana e de Bruno se igualaram no instante 8,0 s, assumindo valor v, cuja determinação pode ser feita por semelhança de triângulos.

$\frac{v}{8,0} = \frac{20,0}{12,0} \Rightarrow v = \frac{40,0}{3,0}$

Com $\Delta s \overset{N}{=} A$, temos:

$\Delta s_{Ana} = \frac{8,0 \cdot \frac{40,0}{3,0}}{2} \therefore \Delta s_{Ana} \simeq 53,3$ m

$\Delta s_{Bruno} = \frac{4,0 \cdot 20,0}{2} + \frac{\left(20,0 + \frac{40,0}{3,0}\right) \cdot 4,0}{2}$

$\therefore \Delta s_{Bruno} \simeq 106,7$ m

Logo:

$x = \Delta s_{Bruno} - \Delta s_{Ana} \Rightarrow x \simeq 106,7 - 53,3 \therefore x \simeq 53,4$ m

11. **a.** Orientando-se a trajetória para cima e aplicando a equação de Torricelli, vem:

$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \Rightarrow 0 = v_0^2 + 2 \cdot (-g) \cdot H \Rightarrow$

$\Rightarrow v_0 = \sqrt{2gH} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,45} \therefore v_0 = 3,0$ m/s

b. O tempo de subida fica determinado por:

$v = v_0 + at \Rightarrow 0 = v_0 - gT \Rightarrow T = \frac{v_0}{g} \Rightarrow$

$\Rightarrow T = \frac{3,0}{10} \therefore T = 0,3$ s

Capítulo 4 Estudo vetorial do movimento

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Distinguir grandezas escalares e vetoriais, representando-as de forma adequada.
- Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito do movimento composto de diversos corpos.
- Analisar questões, elaborar hipóteses e previsões com base em modelos explicativos que permitam descrever movimentos compostos.

- Interpretar dados e situações-problema que envolvem a composição de movimentos para obter conclusões sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 5; 6
- **Habilidade de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301
- **Habilidades de Matemática e suas Tecnologias:** EM13MAT103; EM13MAT301; EM13MAT306 (Resolver e elaborar problemas em contextos que envolvem fenômenos periódicos reais (ondas sonoras, fases da lua, movimentos cíclicos, entre outros) e comparar suas representações com as funções seno e cosseno, no plano cartesiano, com ou sem apoio de aplicativos de álgebra e geometria.); EM13MAT308 (Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.)

Sugestões didáticas

O capítulo explora as representações e os cálculos associados às grandezas vetoriais na descrição dos movimentos. Durante o estudo dos vetores, é possível o trabalho interdisciplinar com Matemática e o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT308**, ao propor uma situação em que é possível aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos em variados contextos. O uso dos simuladores sugeridos contribui para o aprimoramento da **competência geral 5**, pois promove a compreensão e a utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética para comunicar, produzir conhecimentos e resolver problemas.

O estudo dos movimentos periódicos favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13MAT306**, ao propor que os estudantes resolvam problemas em contextos que envolvem fenômenos periódicos reais, e **EM13CNT301**, ao apresentar uma nova ferramenta para fomentar a análise de questões, a elaboração de hipóteses e previsões usando modelos explicativos.

A retomada dos conceitos básicos de Geometria em relação à circunferência pode favorecer o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT103**, ao propor a interpretação e a compreensão de unidades de medida de diferentes grandezas e as conversões possíveis entre elas, adotadas ou não pelo Sistema Internacional de Unidades (SI).

Atividade complementar

Dinâmica do labirinto

Construa um labirinto, que pode ser tanto na sala de aula, usando o *layout* e a disposição das cadeiras, como no pátio ou na quadra da escola, fazendo um desenho do percurso no chão.

Peça aos estudantes que formem duplas nas quais um deles deverá ficar com os olhos vendados e o outro será o guia. Informe ao estudante-guia que ele vai orientar verbalmente o caminho que o colega percorrerá, utilizando as seguintes coordenadas: para a frente, para trás, para a direita e para a esquerda. Ressalte que ele decidirá a melhor forma de orientar o colega. Peça ao estudante que está de olhos vendados que, guiado pelo colega, percorra o caminho, dentro do labirinto, partindo de um ponto até outro. Altere os caminhos, conforme mudam as duplas, para que a atividade se mantenha desafiadora para todos.

Após essa dinâmica, os estudantes poderão compreender, de forma prática, o conceito de vetores e sua aplicação, uma vez que todo deslocamento descreve uma trajetória com um módulo (tamanho), uma direção (horizontal ou vertical) e um sentido (para cima ou para baixo; para a direita ou para a esquerda). A dinâmica proporciona o trabalho com a **competência geral 4**, já que os estudantes mobilizam a linguagem verbal e científica para conduzir o colega enquanto este exercita a escuta.

Resoluções e comentários

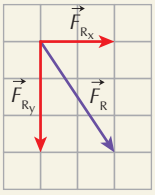
Aplique e registre

1. Grandezas escalares: comprimento, massa e tempo. Grandezas vetoriais: deslocamento, velocidade e força.

2. As velocidades vetoriais de *A* e de *B* têm a mesma intensidade, a mesma direção, porém sentidos opostos.

3. Alternativa **d**. A resultante na horizontal é dada por: $F_{R_x} = F_1 - F_3 \Rightarrow F_{R_x} = (4 - 2) \Rightarrow F_{R_x} = 2$

Ou seja, 2 unidades para a direita, enquanto a resultante na vertical é $F_{R_y} = F_2 = 3$; três unidades para baixo. Portanto, o vetor força resultante é dado por:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

4. **a.** O módulo de $\vec{d}$ é determinado por:

$|\vec{d}|^2 = (300)^2 + (400)^2 \therefore [\vec{d}] = 500 \text{ m}$

b. Como $\Delta t = 16 \text{ min } 40 \text{ s} = 1.000 \text{ s}$, então o intervalo de tempo é:

$|\vec{v}_m| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{v}_m| = \frac{500}{1.000} \therefore |\vec{v}_m| = 0{,}50 \text{ m/s}$

c. O módulo da velocidade escalar média fica determinado por:

$|v_m| = \frac{|\Delta s|}{\Delta t} \Rightarrow |v_m| = \frac{|\vec{d}_1| + |\vec{d}_2| + |\vec{d}_3|}{\Delta t} \Rightarrow$

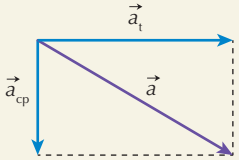
$\Rightarrow |v_m| = \frac{600 + 300 + 200}{1.000} \Rightarrow |v_m| = \frac{1.100}{1.000} \therefore |v_m| = 1{,}1 \text{ m/s}$

5. **a.** $v = \frac{108}{3{,}6} \therefore v = 30 \text{ m/s}$

A aceleração centrípeta é calculada como:

$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_{cp} = \frac{(30)^2}{180} \therefore a_{cp} = 5 \text{ m/s}^2$

b. As acelerações tangencial e centrípeta são perpendiculares entre si e a aceleração vetorial é $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_{cp}$.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

$a^2 = a_t^2 + a_{cp}^2 \Rightarrow a^2 = (12)^2 + (5)^2 \therefore a = 13 \text{ m/s}^2$

6. **a.** O barco desce o rio:

$v_{\text{barco-água}} + v_{\text{arrastamento}} = v_{\text{barco subida}} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_{\text{barco-água}} + 1{,}0 = \frac{36.000}{2{,}5 \cdot 3.600} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_{\text{barco-água}} + 1{,}0 = 4{,}0 \therefore v_{\text{barco-água}} = 3{,}0 \text{ m/s}$

b. O barco sobe o rio:

$v_{\text{barco-água}} - v_{\text{arrastamento}} = v_{\text{barco descida}} \Rightarrow$

$\Rightarrow 3{,}0 - 1{,}0 = \frac{36.000}{\Delta t} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta t = \frac{36.000}{2{,}0} \therefore \Delta t = 18.000 \text{ s ou } \Delta t = 5{,}0 \text{ h}$

7. a. A travessia ocorre em tempo mínimo quando a velocidade do barco em relação às águas é mantida perpendicular à velocidade de arrastamento provocada pela correnteza; logo:

$v_{\text{relativa}} = \frac{Y}{t} \Rightarrow 4{,}0 = \frac{2{,}0}{t} \therefore t = 0{,}5 \text{ h ou } 30 \text{ min}$

b. Cálculo da distância X que o barco percorre descendo o rio durante a travessia pela ação da correnteza:

$v_{\text{arrastamento}} = \frac{X}{t} \Rightarrow 3{,}0 = \frac{X}{0{,}5} \therefore X = 1{,}5 \text{ km}$

Aplicando o teorema de Pitágoras, temos:

$D^2 = X^2 + Y^2 \Rightarrow D^2 = (1{,}5)^2 + (2{,}0)^2 \therefore D = 2{,}5 \text{ km}$

8. a. Subida: movimento retardado; descida: movimento acelerado.

b. Não, é um movimento variado, mas não uniformemente. Ele é retardado na subida e acelerado na descida.

9. a. Os tempos de queda de A e de B serão idênticos, independentemente das intensidades das velocidades horizontais de lançamento. Na vertical, os movimentos são uniformemente acelerados. Aplicando a equação horária do espaço, vem: $\Delta y = v_{0_y} t + \frac{a_y}{2} \cdot t^2$

Sendo $\Delta y = 3{,}2$ m; $v_{0_y} = 0$ e $a_y = 10 \text{ m/s}^2$, tem-se:

$3{,}2 = \frac{10}{2} \cdot t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot 3{,}2}{10}} \therefore t = 0{,}8 \text{ s}$

$t_A = t_B = 0{,}8 \text{ s}$

b. Na horizontal, os movimentos são uniformes e ocorrem com a velocidade horizontal de lançamento.

Para A: $A_A = v_A t \Rightarrow A_A = 2{,}0 \cdot 0{,}8 \therefore A_A = 1{,}6 \text{ m}$

Para B: $A_B = v_B t \Rightarrow A_B = 6{,}0 \cdot 0{,}8 \therefore A_B = 4{,}8 \text{ m}$

10. $f = \frac{3.000}{60} \therefore f = 50 \text{ Hz}$

11. O ponteiro dos segundos tem a maior velocidade escalar angular, pois ele completa uma volta a cada 60 segundos, sendo, portanto, o mais rápido em comparação com os outros ponteiros. Por outro lado, o ponteiro das horas tem a menor velocidade escalar angular porque leva 12 horas para completar uma volta completa.

12. a. A velocidade escalar linear do aeromodelo é:

$v = \frac{108}{3{,}6} \therefore v = 30 \text{ m/s}$

Para 20 voltas:

$v = 20 \cdot \frac{2\pi R}{\Delta t} \Rightarrow 30 = 20 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 15}{\Delta t} \therefore \Delta t = 60 \text{ s} = 1 \text{ min}$

b. $v = \omega \cdot R \Rightarrow 30 = \omega \cdot 15 \therefore \omega = 2 \text{ rad/s}$

c. No MCU, a aceleração vetorial é centrípeta; logo:

$a = a_{cp} = \omega^2 \cdot R \Rightarrow a = (2)^2 \cdot 15 \therefore a = 60 \text{ m/s}^2$

13. $v = \omega \cdot R \Rightarrow v_1 = 5 \cdot 12 \therefore v_1 = 60 \text{ cm/s}$

Como não há deslizamento, $v_2 = v_1 = 60$ cm/s.

$\omega_2 = \frac{v_2}{R_2} \Rightarrow \omega_2 = \frac{60}{30} \Rightarrow \omega_2 = 2 \text{ rad/s}$

14. a. $\frac{f_2}{f_1} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow \frac{f_2}{120} = \frac{15}{25} \therefore f_2 = 72 \text{ rpm}$

b. Os pontos periféricos das polias 1 e 2 percorrerão a mesma distância dos pontos da correia, isto é, $\Delta s = 384$ cm. Lembrando que cada volta de um ponto periférico de uma das polias corresponde a uma distância percorrida igual a $2\pi R$, vem:

$\Delta s = N \cdot 2\pi R$ (com N sendo o número de voltas da polia)

$384 = N_1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \therefore N_1 = 16 \text{ voltas}$

$384 = N_2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 32 \therefore N_2 = 2 \text{ voltas}$

Atividades de fechamento

1. a. Em um ponto do centro da corda, a força resultante tem intensidade mínima.

$F_R = F_A - F_B \Rightarrow F_R = 2.000 - 1.500 \therefore F_R = 500 \text{ N}$

b. Pelo teorema de Pitágoras, temos:

$F_R^2 = (2.000)^2 + (1.500)^2 \therefore F_R = 2.500 \text{ N}$

2. Na direção do eixo x:

$F_x = F - 2 \cdot F \cdot \cos 60° = F - 2 \cdot F \cdot \frac{1}{2} \therefore F_x = 0$

Na direção do eixo y:

$F_y = F + F \cdot \cos 30° - F \cdot \cos 30° \therefore F_y = F$

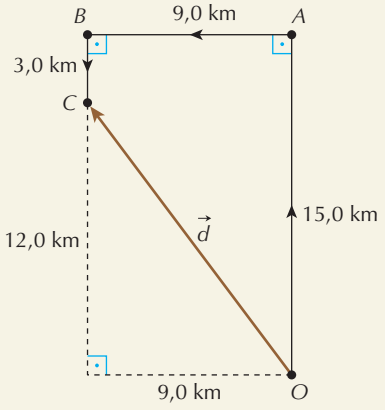
Logo, a força resultante das ações das quatro formigas sobre a folha no instante considerado é F_R, com intensidade dada por $F_R = F_y = F$, na direção e no sentido do eixo y.

3. a. A velocidade escalar média é dada por:

$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{OA + AB + BC}{\Delta t} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_m = \frac{15{,}0 + 9{,}0 + 3{,}0}{13 - 7} = \frac{27}{6} \therefore v_m = 4{,}5 \text{ km/h}$

b.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Pelo teorema de Pitágoras, temos:

$|\vec{d}|^2 = (9{,}0)^2 + (12{,}0)^2 \Rightarrow |\vec{d}| = \sqrt{225} \therefore |\vec{d}| = 15{,}0 \text{ km}$

Para a velocidade vetorial média, temos:

$|\vec{v_m}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{v_m}| = \frac{15{,}0}{6{,}0} \therefore |\vec{v_m}| = 2{,}5 \text{ km/h}$

4. a. Devido à simetria, as componentes de $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$ na direção do eixo y se anulam. Já na direção do eixo x, temos:

$F_{R_x} = F_A \cdot \cos 30° + F_B \cdot \cos 30° \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{R_x} = 2 \cdot 300 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore F_{R_x} = 300\sqrt{3} \text{ kN}$

b. A resultante das forças de $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$ terá a direção e o sentido do eixo x.

5. **a.** O encontro ocorrerá no instante t em que Beatriz tiver percorrido em movimento uniforme sobre o solo a distância $L = 6{,}0$ m.

$v_B = \frac{L}{t} \Rightarrow 0{,}80 = \frac{6{,}0}{t} \therefore t = 7{,}5$ s

b. A componente horizontal da velocidade resultante do André em relação ao solo deverá ser igual à velocidade da Beatriz.

$v_{A_{(res)}} \cdot \cos 37° = v_B \Rightarrow (v_A - v_E) \cdot \cos 37° = v_B \Rightarrow$

$\Rightarrow (v_A - 0{,}50) \cdot 0{,}80 = 0{,}80 \Rightarrow v_A - 0{,}50 = 1{,}0$

$\therefore v_A = 1{,}5$ m/s

6. No ponto A: $\vec{v}_{arrastamento} = 100$ km/h e $\vec{v}_{relativa} = 100$ km/h

$v_{arrastamento} + v_{relativa} = v_A \Rightarrow v_A = 100 + 100$

$\therefore v_A = 200$ km/h

No ponto B: $\xleftarrow{v_{relativa} = 100 \text{ km/h}}$ $\xrightarrow{v_{arrastamento} = 100 \text{ km/h}}$

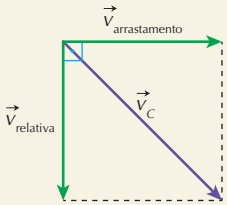
$v_B = 100 - 100 \Rightarrow v_B = 0$

No ponto C:

$v_C^2 = (100)^2 + (100)^2 \Rightarrow v_C = 100\sqrt{2} \simeq 100 \cdot 1{,}4$

$\therefore v_C \simeq 140$ km/h

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



7. Cálculo do tempo gasto pelo som para atingir o biólogo:

$v_{som} = \frac{d}{t_{som}} \Rightarrow 320 = \frac{64}{t_{som}} \therefore t_{som} = 0{,}2$ s

O intervalo de tempo $\Delta t = 1{,}8$ s é a diferença entre o tempo de voo da semente até o biólogo, t_{voo}, e $t_{som} = 0{,}2$ s.

$t_{voo} - t_{som} = \Delta t \Rightarrow t_{voo} - 0{,}2 = 1{,}8 \therefore t_{voo} = 2{,}0$ s

Na vertical, o movimento da semente é uniformemente acelerado; logo:

$h = v_{0_y} \cdot t_{voo} + \frac{g}{2} \cdot (t_{voo})^2 \Rightarrow h = 0 + \frac{10}{2} \cdot (2{,}0)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow h = \frac{10}{2} \cdot 4{,}0 \therefore h = 20$ m

Na horizontal, o movimento da semente é uniforme; portanto:

$v_0 = \frac{d}{t_{voo}} \Rightarrow v_0 = \frac{64}{2{,}0} \therefore v_0 = 32$ m/s

8. Alternativa **c**. Componentes de $\vec{v}_0$:

$v_{0_x} = v_0 \cdot \cos\theta \Rightarrow v_{0_x} = 10 \cdot 0{,}60 \therefore v_{0_x} = 6{,}0$ m/s

$v_{0_y} = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta \Rightarrow v_{0_y} = 10 \cdot 0{,}80 \therefore v_{0_y} = 8{,}0$ m/s

Cálculo do tempo de voo para um MUV na vertical:

$\Delta y = v_{0_y} \cdot t + \frac{a_y}{2} \cdot t^2$

Adotando-se o referencial no ponto de lançamento, com o eixo y orientado para cima, vem:

$-4{,}0 = 8{,}0 \cdot T - \frac{10}{2} \cdot T^2 \Rightarrow 5{,}0 \cdot T^2 - 8{,}0 \cdot T - 4{,}0 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow T = \frac{8{,}0 \pm \sqrt{64 + 80}}{10} = \frac{8{,}0 \pm 12}{10} \therefore T = 2{,}0$ s

Cálculo de D, para um MU na horizontal:

$D = v_{0_x} \cdot T \Rightarrow D = 6{,}0 \cdot 2{,}0 \therefore D = 12{,}0$ m

9. **a.** Cálculo da frequência de rotação da lâmina em rps ou Hz:

$f = 5{,}0 \text{ rpm} = \frac{5{,}0 \text{ rotações}}{60 \text{ s}} \therefore f = \frac{1{,}0}{12}$ Hz

Essa frequência será comum aos movimentos circulares e uniformes de A e de B.

$v_A = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)_A = 2\pi R_A f \Rightarrow v_A = 2 \cdot 3 \cdot 84{,}0 \cdot \left(\frac{1{,}0}{12}\right)$

$\therefore v_A = 42{,}0$ m/s ou $v_A = 151{,}2$ km/h

$v_B = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)_B = 2\pi R_B f \Rightarrow$

$\Rightarrow v_B = 2 \cdot 3 \cdot (84{,}0 - 56{,}0) \cdot \left(\frac{1{,}0}{12}\right)$

$\therefore v_B = 14{,}0$ m/s ou $v_B = 50{,}4$ km/h

b. Os pontos da lâmina girante descrevem movimentos circulares e uniformes e a aceleração vetorial é a centrípeta nas respectivas trajetórias.

Para o ponto A, tem-se:

$a = a_{cp(A)} \Rightarrow a = \frac{(v_A)^2}{R_A} \Rightarrow$

$\Rightarrow a = \frac{(42{,}0)^2}{84{,}0} \therefore a = 21{,}0$ m/s^2

10. Alternativa **d**. Engrenagens 1 e 2 em contato:

$v_2 = v_1 \Rightarrow 2\pi R_2 f_2 = 2\pi R_1 f_1 \Rightarrow$

$\Rightarrow 14 \cdot f_2 = 56 \cdot 75 \therefore f_2 = 300$ rpm

Engrenagens 2 e 3 têm o mesmo eixo: $f_3 = f_2 = 300$ rpm

Engrenagens 3 e 4 em contato: $v_4 = v_3 \Rightarrow 2\pi R_4 f_4 = 2\pi R_3 f_3 \Rightarrow$

$\Rightarrow 14 \cdot f_4 = 28 \cdot 300 \therefore f_4 = 600$ rpm

Em hertz, temos:

$f_4 = \frac{600 \text{ rotações}}{60 \text{ s}} \therefore f_4 = 10$ Hz

Pino superior e engrenagem 4 têm o mesmo eixo:

$f_P = f_4 = 10$ Hz

Correia e os dois pinos:

$v_C = 2\pi R_P f_P \Rightarrow v_C = 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \therefore v_C = 3{,}0$ m/s

11. A principal vantagem é a grande economia de combustível logo após o ato do lançamento, já que, partindo próximo à linha do Equador, o foguete deixa a Terra com grande velocidade escalar linear. De fato, $v = \omega R$.

Em todos os pontos do planeta (sólido girando em torno de um mesmo eixo), $\omega = \frac{2\pi}{T}$ é constante. Logo, v é diretamente proporcional a R. No Equador, R é máximo e igual ao raio da Terra, o que explica a grande velocidade escalar linear.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. As atividades propostas nos capítulos podem ser usadas para avaliação formativa, como acompanhamento das aprendizagens e como subsídio para as intervenções necessárias. A seção **Atividades de fechamento** visa avaliar a aprendizagem dos principais conteúdos abordados, incluindo atividades de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Educação midiática

As *fake news* relacionadas ao campo das Ciências da Natureza, impulsionadas pelas dinâmicas das plataformas digitais e das redes sociais, podem prejudicar a compreensão pública e obscurecer o desenvolvimento e o avanço de pesquisas científicas. Além de analisar o conteúdo das mensagens enganosas, é fundamental compreender como a desinformação circula para que seja possível identificar e quebrar o ciclo de propagação de tais mentiras. Essa abordagem ajuda a combater a desinformação e a fortalecer a confiança pública na ciência, promovendo uma disseminação mais precisa do conhecimento científico.

Nesse contexto, a seção tem como objetivo aprimorar o senso crítico dos estudantes em relação às *fake news* e à desinformação, abordando não apenas temas relacionados à interação entre o ser humano e o Universo, mas também questões do cotidiano. O objetivo é capacitar os estudantes a identificar, refutar e combater *fake news* de maneira autônoma, promovendo uma abordagem crítica e informada em todas as áreas de sua vida.

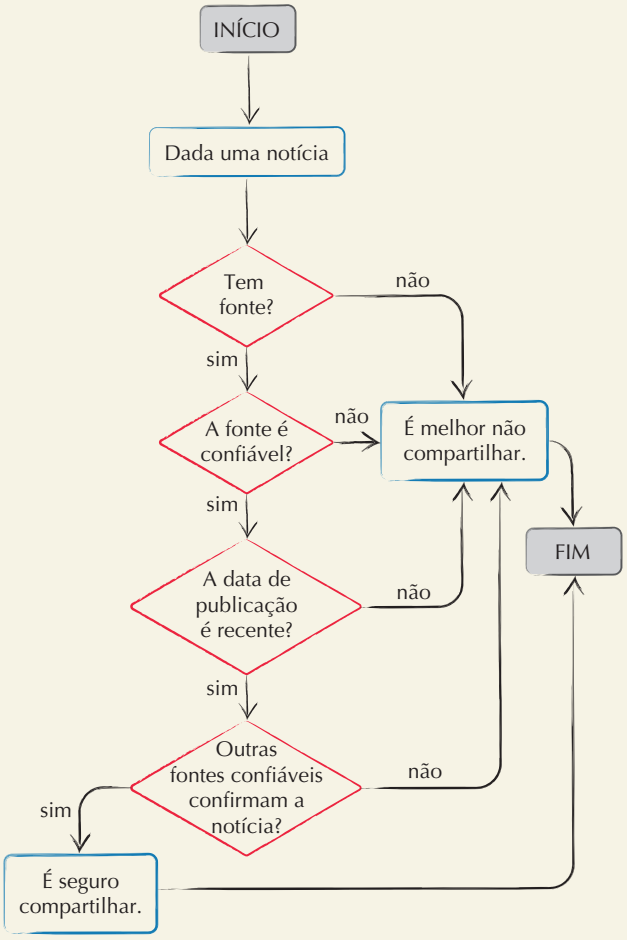
Oriente os estudantes sobre as formas de combater a desinformação. Se considerar pertinente, sugira a pesquisa de diferentes mecanismos de checagem, como os do TSE (Tribunal Superior Eleitoral) e das universidades públicas. Ao longo do processo de análise das informações, é importante evidenciar a importância da curadoria dos conteúdos. Para explorar as boas práticas de curadoria de conteúdos disponíveis na internet, sugerimos a leitura de artigos que discutam algumas notícias falsas relacionadas à área de Ciências da Natureza, como os artigos publicados pela AFP Checamos, serviço mantido pela **Agence France-Press**. Disponível em: https://checamos.afp.com/. Acesso em: 15 set. 2024.

Com a **Ampliação de repertório**, os estudantes iniciam suas pesquisas, que servirão como base para as atividades relacionadas à produção de conteúdo. Iniciar o trabalho com a elaboração de um mapa conceitual pode auxiliar os estudantes na síntese e na organização das ideias sobre o tema, facilitando sua compreensão e sua estruturação.

Se achar conveniente, inclua outros questionamentos na proposta a fim de aproximar ainda mais o tema das *fake news* na Ciência da realidade dos estudantes. Nesse momento, se for pertinente, também é possível discutir liberdade de expressão no contexto das *fake news*.

Para sistematizar este e outros momentos de discussão, criar um painel com notas autoadesivas pode ser uma forma eficaz de trabalho coletivo, permitindo aos estudantes registrar e consultar suas reflexões e pesquisas ao longo do ano letivo.

Após essa investigação, propõe-se que os estudantes pesquisem exemplos de casos de *fake news* relacionadas à Ciência e debatam seus impactos na sociedade, identificando, ainda, medidas que as plataformas digitais têm adotado como estratégia para conter a disseminação das notícias falsas. Para exercitar a prática de identificar *fake news*, proponha aos estudantes que construam fluxogramas, ferramentas visuais que possibilitam a decomposição de problemas complexos em partes menores e a criação de soluções lógicas e estruturadas. Essa representação gráfica facilita a compreensão e a comunicação dos processos. O trabalho com fluxogramas pode ser desenvolvido de forma interdisciplinar com Matemática, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT315** (Investigar e registrar, por meio de um fluxograma, quando possível, um algoritmo que resolve um problema.). A seguir, é mostrado um exemplo de fluxograma que pode ser utilizado na identificação de *fake news*.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Na **Produção de conteúdo**, propõe-se um trabalho que envolve o desenvolvimento de habilidades coletivas e individuais, com a elaboração de produtos que possam impactar os estudantes e seu entorno.

A proposta é que os estudantes elaborem um guia informativo autoral, cujo objetivo é combater a desinformação e auxiliar a comunidade. Para isso, eles devem organizar o trabalho por etapas, definindo o público-alvo, o tipo de mídia para a divulgação do guia (por exemplo, *posts* nas redes sociais, fotos ou vídeos) e os recursos textuais, audiovisuais e imagéticos possíveis para a sua montagem, além da definição do *layout*. A sugestão é que esse trabalho seja executado em sala de aula.

A **Autoavaliação** é um processo que aumenta a autonomia do estudante, de modo a ajudá-lo a identificar pontos de melhoria em seu aprendizado. As rubricas correspondem a uma possibilidade de organizar e estabelecer alguns parâmetros para facilitar a reflexão dos estudantes a respeito dos critérios utilizados no processo. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante para cada um dos critérios sugeridos. Indicamos a referência suplementar MENDONÇA, A. P.; COELHO, I. M. W. da S. Capítulo IX – Rubricas e suas contribuições para a avaliação de desempenho de estudantes. *In*: SOUZA, A. C. R. de *et al*. **Formação de professores e estratégias de ensino**: perspectivas teórico-práticas. Curitiba: Appris, 2021.

UNIDADE 2

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

A energia é um componente essencial em todos os organismos vivos e em suas atividades. Compreender o conceito de energia é fundamental para entender nossa interação com o ambiente e seu papel no desenvolvimento sustentável. O texto de abertura da unidade explora as relações entre diferentes tipos de energia e suas transformações, utilizando o funcionamento de uma usina hidrelétrica como exemplo. O Parque Nacional do Iguaçu serve como contexto enriquecedor para refletir sobre os fluxos de energia na natureza e nas aplicações tecnológicas, ilustrando como esses conceitos se manifestam em situações reais.

1. A água em queda que faz movimentar as pás das turbinas de uma usina hidrelétrica está sob a ação da força da gravidade, que faz com que a água caia em direção ao solo.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes apresentem respostas que integrem seus conhecimentos prévios e a compreensão da palavra *trabalho* conforme seu uso cotidiano, no qual ela é normalmente associada ao esforço físico e à aplicação de uma força, por exemplo. Além disso, podem ser apresentadas definições conceituais mais precisas do contexto da Física, como o conceito de trabalho relacionado à transferência de energia.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem e descrevam as diferentes formas de energia que são convertidas e utilizadas em diversas atividades do dia a dia, como a transformação de energia elétrica em energia térmica, luminosa e sonora em equipamentos elétricos e eletrônicos, entre outras situações.

Capítulo 5 Leis de Newton e movimentos curvilíneos

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Explicar as três leis de Newton e sua aplicação na descrição do movimento dos corpos e das interações entre eles, analisando os diferentes tipos de força e a relação entre força, massa e movimento.
- Analisar situações, investigar causas e interpretar resultados usando as leis de Newton para elaborar conclusões relativas a situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.
- Avaliar riscos em atividades cotidianas por meio da aplicação das leis de Newton para justificar suas aplicações.
- Analisar como as forças atuam em corpos que seguem trajetórias curvilíneas e descrever as características do movimento circular uniforme e a relação entre aceleração centrípeta e força centrípeta.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 5; 6
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT201; EM13CNT204; EM13CNT301; EM13CNT303; EM13CNT306

Sugestões didáticas

O capítulo trata das leis de Newton e dos movimentos curvilíneos. O movimento está presente no cotidiano e, por isso, durante as experiências que vivenciamos, propomos explicações para esse fenômeno, as quais nem sempre condizem com os conceitos científicos e muitas vezes persistem, mesmo depois de aprendermos alguns conceitos na escola.

O capítulo é iniciado a partir dos conceitos de força e de movimento inercial, com ênfase na construção histórica da Mecânica Aristotélica. O aprofundamento da dimensão histórica pode ser feito a partir da leitura e do debate da referência suplementar HARRES, J. B. S. Desenvolvimento histórico da Dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *In*: Encontro Ibero-americano sobre Investigação em Educação em Ciências, 1., Burgos, 2002, p. 89-101. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4145/2710. Acesso em: 5 nov. 2024. Na discussão, pergunte aos estudantes: "Por que eles pensavam desse jeito nessa época?" para ajudar a entender o conhecimento como parte estruturante do pensamento de uma época, bem como enfatizar o seu caráter evolutivo – e não estático, aspecto fundamental para o aprofundamento da **competência geral 1** e da habilidade **EM13CNT201**.

Em seguida, são exploradas cada uma das leis de Newton, propondo situações e experimentos para que os estudantes compreendam os conceitos com base em fenômenos comuns às suas observações cotidianas. Dessa forma, ao utilizar os conhecimentos elaborados historicamente sobre o mundo físico para explicar situações comuns que envolvem o movimento dos objetos e as interações gravitacionais, os estudantes exercitarão, concomitantemente, a **competência geral 1** e as habilidades **EM13CNT201** e **EM13CNT204**.

O conceito de inércia pode ser introduzido a partir de situações do cotidiano, como, por exemplo, quando um ônibus que está inicialmente parado inicia o movimento, ou o que acontece quando um objeto se movimenta sob a ação de uma força e, de repente, essa força cessa. Utilizando os exemplos da abertura do capítulo e do tópico "Movimento inercial", pode-se debater sobre o que mantém um satélite em movimento. O exemplo da sonda espacial Voyager 2 pode ser utilizado na discussão sobre como ela se desloca no espaço a uma velocidade de 55.000 km/h sem a atuação de nenhuma força puxando-a ou empurrando-a.

A seção **Em foco** apresenta um texto que discute uma situação retratada no filme **Perdido em Marte** (2015). Se possível, é interessante exibir o filme ou o seu *trailer*, que pode ser assistido em 20TH CENTURY STUDIOS BRASIL. **Perdido em Marte | *Trailer* Oficial Dublado | HD**. Youtube, 8 junho de 2015. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=tCAgtzMUCaA. Acesso em: 28 out. 2024. Sugira aos estudantes que reflitam sobre o texto e respondam às questões propostas. Essa atividade está alinhada com a **competência geral 7** ao investigar e discutir o uso de conceitos científicos na ficção científica. Ao comparar as situações retratadas com a realidade científica, os estudantes são incentivados a formular, negociar e defender ideias com base em informações precisas e contextos reais. A atividade promove o pensamento crítico ao avaliar a precisão das representações

cinematográficas e ao considerar a importância de fundamentar opiniões na ciência e não apenas nas mídias. Dessa forma, os estudantes desenvolvem habilidades críticas e argumentativas essenciais para o entendimento e aplicação dos conhecimentos científicos na realidade.

Em seguida, o conceito de força pode ser discutido por meio de exemplos do cotidiano. Se for pertinente, é possível explorar simulações simples de quedas de objetos para discutir os efeitos da força gravitacional, o deslocamento de objetos sobre superfícies com mais ou menos atrito, a suspensão de objetos utilizando barbantes para investigar o funcionamento da força de tração e o uso de elásticos e molas para explorar os efeitos da força elástica, por exemplo. O estudo da força de atrito pode ser aprofundado, ainda, pela **Atividade complementar** proposta a seguir. A realização de experimentos e demonstrações simples como essas contribuem para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, uma vez que os estudantes são levados a construir questões, a elaborar hipóteses e a fazer previsões sobre o movimento dos corpos sob a ação de forças, além de interpretar os dados experimentais e justificar conclusões sob uma perspectiva científica.

A atividade *Construção de um dinamômetro simples*, na seção **Na prática**, propõe a utilização de materiais simples para construir um dinamômetro, a fim de estudar a lei de Hooke e as relações entre a massa de diferentes objetos e a deformação da mola que compõe o dinamômetro. Nas questões propostas, uma das possibilidades é o uso de aplicativos de planilhas eletrônicas para a construção de tabelas e gráficos, que favorece o desenvolvimento da **competência geral 5**. Os enunciados da segunda e da terceira lei de Newton também podem ser discutidos a partir de situações do cotidiano nas quais podemos percebê-las na prática. Assim, para encerrar as discussões sobre o tema, proponha aos estudantes que exemplifiquem seu entendimento, mostrando onde essas leis podem ser utilizadas para, por exemplo, facilitar o trabalho humano, o que é importante para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**. Dessa forma, os estudantes serão capazes de compreender as aplicações das leis de Newton e de avaliar os riscos em atividades cotidianas para justificar o uso de equipamentos, recursos e comportamentos de segurança.

Por fim, proponha aos estudantes a leitura do tópico "Movimentos curvilíneos" e peça a eles que anotem e compartilhem as principais ideias apresentadas no texto. Se julgar oportuno, comente que corpos com velocidade constante, em movimento circular, precisam, a cada intervalo de tempo, ter alterados a direção e o sentido de seu movimento para que se mantenham em círculo. Com isso, a resultante das forças não é zero, pois, embora a força não altere o valor da velocidade, ela está alterando a direção e o sentido. Dê exemplos de como funcionam os satélites em órbita, um corpo girando preso a uma corda; as apresentações acrobáticas de motociclistas em "globos da morte", entre outros. Faça um desenho no quadro de giz identificando a mudança do vetor velocidade em diferentes pontos da trajetória circular.

Proponha aos estudantes que trabalhem em pequenos grupos para a resolução dos exercícios propostos na seção **Atividades de fechamento**. Nessa seção, você poderá verificar se eles conseguem interpretar os fenômenos com base nas leis de Newton, mobilizando, assim, a habilidade **EM13CNT301**. Proponha a eles que discutam o significado das grandezas físicas obtidas como respostas e as associem aos conceitos trabalhados durante as aulas.

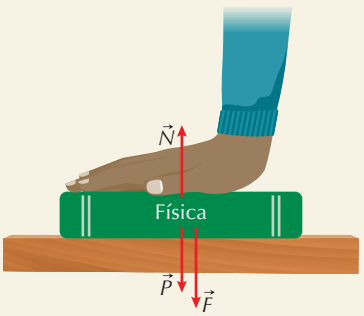
Atividade complementar

Coeficiente de atrito estático entre diferentes superfícies

A atividade complementar tem como objetivo determinar o coeficiente de atrito estático entre diferentes superfícies, aplicando conceitos de plano inclinado e as leis de Newton. Em grupos de três ou quatro, os estudantes devem montar um plano inclinado utilizando uma placa de madeira e um transferidor, fixando o transferidor sobre uma carteira ou bancada e alinhando uma das extremidades da placa de madeira ao centro do transferidor, garantindo que essa extremidade permaneça fixa. Com o objeto posicionado sobre a placa, a outra extremidade da madeira é elevada até que o objeto comece a se mover, momento em que o ângulo entre a placa e a superfície deve ser medido. O mesmo processo é repetido para outros dois objetos, registrando todas as medidas. Cada procedimento deve ser repetido três vezes para cada objeto, registrando os ângulos obtidos. Ao final, os estudantes devem discutir por que diferentes objetos precisam de ângulos variados para iniciar o movimento e verificar se a massa dos objetos influencia o ângulo de deslizamento, realizando testes com objetos de massas distintas. Por fim, devem calcular o coeficiente de atrito para cada situação com base nos dados obtidos.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

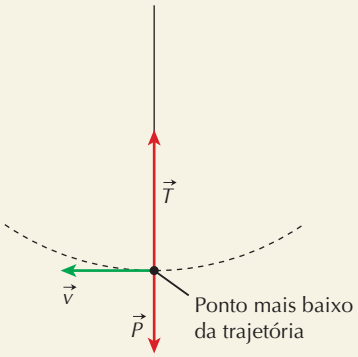
1. Espera-se que os estudantes associem o conceito de inércia com a massa do objeto, argumentando que a força necessária para mover um objeto pesado está associada a uma quantidade maior de força para fazê-lo sair do repouso.
2. Com base na primeira lei de Newton, podemos concluir que a força resultante atuando em um corpo que se desloca em movimento inercial é nula.
3. **a.** Essa afirmação se refere à segunda lei de Newton, pois trata da proporção entre a resultante das forças e a aceleração obtida.
   b. Essa afirmação se refere à terceira lei de Newton, lei da ação e reação, pois descreve uma situação na qual a força aplicada pelo martelo seria a ação e a força aplicada pelo prego, a reação.
   c. Essa afirmação se refere à primeira lei de Newton, o princípio da inércia, já que os passageiros têm a tendência de manter seu estado de movimento.
4. 

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA
5. Ao afrouxar os dedos, reduzem-se as intensidades das forças normais de compressão contra o corpo do cilindro com consequente redução na intensidade da força de atrito máxima ou de destaque. A partir de certo instante, a intensidade do peso do cilindro supera a intensidade da força de atrito de destaque e o cilindro cai.

6. Em um movimento circular uniforme (MCU), a força resultante que mantém o objeto em sua trajetória circular é a força centrípeta. Em relação à trajetória, essa força tem direção radial e sentido de fora para o centro da curva.

7. No ponto mais baixo da trajetória, a velocidade vetorial do trapezista é tangente à trajetória e orientada no sentido do movimento, conforme ilustrado no esquema a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Em foco

1. Rich Purnell é mostrado como o único responsável por uma solução para um problema complexo, o que pode levar o público a pensar que cientistas trabalham sozinhos no desenvolvimento de projetos, modelos e teorias, reforçando o estereótipo do cientista como gênio solitário. Na realidade, a Ciência é resultado do trabalho colaborativo, em que diversos especialistas se dedicam a resolver os problemas e a validar soluções. A ficção pode simplificar o papel dos cientistas, ao deixar de representar a importância do trabalho em equipe e da colaboração no processo científico.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes tragam elementos relacionados à massa do combustível, que implica a necessidade de mais força para superar a atração gravitacional da Terra no lançamento.

Na prática

1. Os dados da tabela devem ser utilizados para criar um gráfico cartesiano que mostre como o comprimento da mola varia em função da intensidade dos pesos suspensos. Se o gráfico for feito no caderno, é importante assegurar a identificação correta dos eixos *x* e *y* e garantir que os pontos correspondentes a cada par de valores sejam plotados corretamente. Se o gráfico for construído em um aplicativo de planilha eletrônica, as colunas com os dados dos pesos e o comprimento da mola devem ser selecionadas e, em seguida, deve-se inserir um gráfico cartesiano (de dispersão ou de linha).

2. O gráfico construído deve mostrar uma relação linear direta entre a intensidade dos pesos e o comprimento da mola, conforme previsto pela lei de Hooke. Espera-se que os estudantes observem que o gráfico se comporta como uma linha reta, indicando que a deformação da mola é diretamente proporcional ao peso aplicado.

3. A constante elástica da mola deve ser calculada a partir dos pontos correspondentes entre a força e a deformação indicados na tabela. A fórmula é $F = k \cdot \Delta L$, o que implica que $k = \frac{F}{\Delta L}$. Após a realização do cálculo, deve-se verificar a consistência dos resultados com os dados da tabela. Além disso, é importante utilizar as unidades de medida apropriadas.

4. Com uma mola de constante elástica maior, a mola se torna mais rígida, o que significa que uma força maior é necessária para produzir a mesma deformação ΔL. Portanto, se a constante elástica aumenta, a força necessária para a deformação será maior. Espera-se que os estudantes cheguem à conclusão de que a mola com uma constante elástica maior exige maior intensidade de força para alcançar o mesmo comprimento de deformação se comparado com uma mola de constante elástica menor.

Atividades de fechamento

1. A constante elástica da mola pode ser calculada utilizando a lei de Hooke. Como a força é exercida pela massa, então a força é simplesmente o peso do objeto:

$F = k \cdot \Delta x \Rightarrow m \cdot g = k \cdot \Delta x \Rightarrow k = \frac{m \cdot g}{\Delta x}$

Aplicando os valores, temos:

$k = \frac{0{,}3 \cdot 10}{0{,}02} \therefore k = 150 \text{ N/m}$

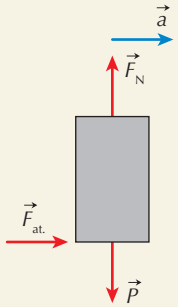
2. Alternativa **c**. Para que não haja escorregamento, a intensidade da força motora não pode superar a intensidade da força de atrito estático.

$F_{motora} \leq F_{at.\,máx.} \Rightarrow F_{motora} \leq \mu_e \cdot F_N \Rightarrow$

$\Rightarrow 200 \leq \mu_e \cdot 800 \therefore \mu_e \geq 0{,}25$

Com exceção do cimento, todos os demais revestimentos seriam adequados, porém o mais econômico é a madeira.

3. Alternativa **d**. As forças que atuam na caixa estão representadas na figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Na direção vertical:

$F_N = P = m \cdot g$

Na direção horizontal:

$F_{at.} = m \cdot a$

Para que a caixa não escorregue:

$F_{at.} \leq \mu_e \cdot F_N \Rightarrow m \cdot a \leq \mu_e \cdot m \cdot g \Rightarrow a \leq \mu_e \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow a_{máx.} = \mu_e \cdot g \Rightarrow a_{máx.} = 0{,}20 \cdot 10 \therefore a_{máx.} = 2 \text{ m/s}^2$

4. Alternativa **a.** Considerando os dados do enunciado, as forças que atuam na caixa são as trações T_1 e T_2 das cordas e a força de atrito $F_{at.}$ entre a caixa e o assoalho da carroceria.

Na situação de aceleração, a força resultante é igual a

$F_R = M \cdot a \Rightarrow F_R = 200 \cdot 3 \therefore F_R = 600 \text{ N}$

A força de atrito é dada por:

$F_{at.} = \mu_e \cdot M \cdot g \Rightarrow 0{,}2 \cdot 200 \cdot 10 \therefore F_{at.} = 400 \text{ N}$

Devido à inércia, no momento da aceleração, a caixa tende a se mover para trás. Logo, $T_1 = 0$ N e a força resultante será $F_R = T_2 + F_{at.}$. Substituindo os valores encontrados, obtemos:

$600 = T_2 + 400 \therefore T_2 = 200 \text{ N}$

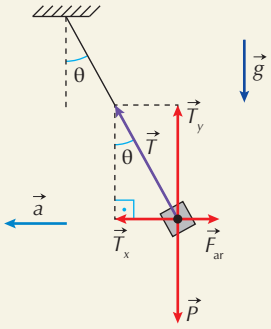
Na situação de frenagem, a força resultante é:

$F_R = 200 \cdot 5 \therefore F_R = 1.000$ N

Da mesma forma que na situação anterior, $T_2 = 0$ N, devido à inércia da carga. A força de atrito é a mesma, pois independe da aceleração horizontal. Assim, substituindo na equação da força resultante, temos:

$1.000 = T_1 + 400 \therefore T_1 = 600$ N

5. **a.** No esquema a seguir estão representadas as forças que agem no contêiner.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

De acordo com a figura, temos $T_x = T \cdot \text{sen } \theta$ e $T_y = T \cdot \cos \theta$. Como não há movimento na vertical, as forças estão em equilíbrio:

$T_y = P \Rightarrow T \cdot \cos \theta = M \cdot g \therefore T = \dfrac{M \cdot g}{\cos \theta}$

b. Os helicópteros são cruciais no combate a incêndios florestais, pois permitem uma resposta mais rápida e eficiente em áreas de difícil acesso, como regiões remotas e mata fechada, onde as operações terrestres são complexas e demoradas. Dessa forma, eles podem alcançar pontos críticos dos incêndios que seriam inacessíveis por terra. Além disso, a visão aérea proporcionada pelos helicópteros contribui para a coordenação de ações para potencializar a eficácia das equipes de operações terrestres.

6. **a.** Aplicando a segunda lei de Newton no bloco *C*, temos:

$F_{BC} = m_C \cdot a \Rightarrow 20 = 5{,}0 \cdot a \therefore a = 4{,}0$ m/s²

Aplicando a segunda lei de Newton para o conjunto de blocos, temos:

$m_D \cdot g = (m_A + m_B + m_C + m_D) \cdot a \Rightarrow$

$\Rightarrow m_D \cdot 10 = (12 + m_D) \cdot 4{,}0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2{,}5 \cdot m_D = 12 + m_D \therefore m_D = 8{,}0$ kg

b. Aplicando a segunda lei de Newton para o conjunto de blocos *A*, *B* e *C*, temos:

$T = (m_A + m_B + m_C) \cdot a \Rightarrow T = 12 \cdot 4{,}0 \therefore T = 48$ N

c. Aplicando a segunda lei de Newton para o conjunto *B* e *C*:

$F_{AB} = (m_B + m_C) \cdot a \Rightarrow F_{AB} = 5{,}0 \cdot 4{,}0 \therefore F_{AB} = 24$ N

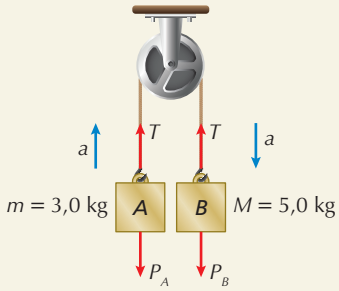
7. Para que ocorra a situação de equilíbrio, a força de tração deve ser igual ao peso do bloco de massa *M*:

$T = M \cdot g \Rightarrow T = 10 \cdot 10 \therefore T = 100$ N

Como a esfera descreve um movimento circular uniforme, então:

$T = \dfrac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow 100 = \dfrac{2{,}0 \cdot 10^2}{r} \therefore r = 2{,}0$ m

8. Alternativa **d**. O sistema descrito no enunciado pode ser representado pela figura a seguir:



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Pelo princípio fundamental da Dinâmica, no bloco *A*, temos:

$T - P_A = m \cdot a$

Pelo princípio fundamental da Dinâmica, no bloco *B*, temos:

$P_B - T = M \cdot a$

Somando as equações, temos:

$P_B - P_A = (m + M) \cdot a \Rightarrow$

$\Rightarrow 50 - 30 = 8{,}0 \cdot a \therefore a = 2{,}5$ m/s²

Para calcular quanto a massa *M* deve ser reduzida, podemos fazer:

$P_A - P'_B = (m + M') \cdot a \Rightarrow$

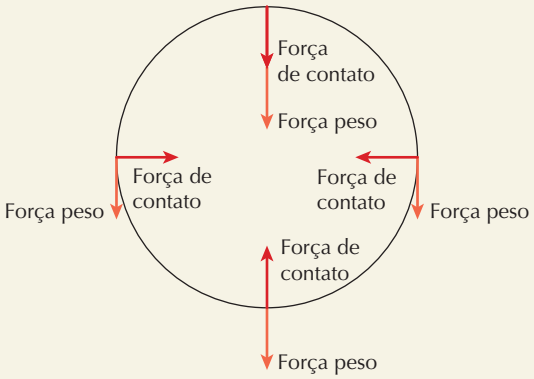
$\Rightarrow 30 - M' \cdot 10 = (3{,}0 + M') \cdot 2{,}5 \Rightarrow$

$\Rightarrow 30 - M' \cdot 10 = 7{,}5 + 2{,}5 \cdot M' \Rightarrow$

$\Rightarrow 22{,}5 = 12{,}5 \cdot M' \therefore M' = 1{,}8$ kg

Como a massa era 5,0 kg, a massa deve ser reduzida em 3,2 kg.

9. **a.** As forças que atuam sobre a motocicleta ao longo de toda a trajetória são a força peso $\vec{P}$ e a força de contato $\vec{F}$ entre a motocicleta e a estrutura do globo da morte. As direções e os sentidos dessas forças nos pontos *A*, *B*, *C* e *D* estão indicadas na figura a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

b. Para que a motocicleta passe pelo ponto *C* sem perder contato com o interior do globo, a força de contato entre a estrutura do globo da morte precisa ser igual ao peso do conjunto piloto + motociclista.

$F = P \Rightarrow m \cdot \dfrac{v^2_{\text{mín.}}}{R} = m \cdot g \Rightarrow \dfrac{v^2_{\text{mín.}}}{R} = g \Rightarrow v = \sqrt{gR}$

Adotando o valor de $R = 3{,}6$ m dado no enunciado e assumindo que $g = 10$ m/s², temos:

$v = \sqrt{10 \cdot 3{,}6} \therefore v = 6{,}0$ m/s

Capítulo 6 Trabalho e potência

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar as aplicações dos conceitos de potência e rendimento em diversas situações do dia a dia.
- Explicar a dinâmica de corpos com base nos conceitos de trabalho e potência.
- Analisar questões e elaborar hipóteses por meio do entendimento da relação entre força e trabalho para solucionar situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 6
- **Habilidade de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301
- **Habilidades de Matemática e suas Tecnologias:** EM13MAT101 (Interpretar criticamente situações econômicas, sociais e fatos relativos às Ciências da Natureza que envolvam a variação de grandezas, pela análise dos gráficos das funções representadas e das taxas de variação, com ou sem apoio de tecnologias digitais.); EM13MAT301 (Resolver e elaborar problemas do cotidiano, da Matemática e de outras áreas do conhecimento, que envolvem equações lineares simultâneas, usando técnicas algébricas e gráficas, com ou sem apoio de tecnologias digitais.)

Sugestões didáticas

Para iniciar a abordagem do tema do capítulo, que trata dos conceitos de trabalho e potência, apresenta-se uma discussão sobre o setor de transportes e a mobilidade urbana, enfatizando as diferenças na realização de trabalho quando comparamos diferentes meios de transporte, como bicicletas, ônibus e até a mobilidade a pé. Essa temática contempla o **ODS 11** (Cidades e comunidades sustentáveis), e o tema pode ser ampliado por meio da discussão sobre semelhanças e diferenças da mobilidade em diferentes regiões, como diferentes capitais brasileiras e em cidades menores, por exemplo, situando também a cidade onde se localiza a escola, por exemplo.

Ao longo do capítulo, são explorados os trabalhos realizados em diferentes situações (força constante, força peso e força de atrito) e os conceitos de potência e rendimento. A seção **Atividade comentada** apresenta uma resolução comentada de uma questão do Enem sobre a relação entre a potência útil e a potência total na usina de Itaipu. A estrutura da resolução é organizada em etapas que contemplam os seguintes pilares do pensamento computacional: "decomposição", na etapa de análise e interpretação do enunciado; "abstração", na etapa de seleção das informações fornecidas pelo enunciado; "reconhecimento de padrões", na identificação dos conceitos aplicados e das equações que os representam; e "algoritmo", na proposta de representação de um fluxograma para a resolução do problema que possa ser aplicado para a solução de situações análogas.

Sobre o conteúdo abordado no capítulo, é importante confrontar a ideia de trabalho que usamos no cotidiano com o conceito físico. Por exemplo, o ato de caminhar carregando sacos pesados é popularmente considerado um trabalho que gera cansaço ao corpo. No entanto, pelo conceito físico, o trabalho realizado nesse tipo de ação é nulo, uma vez que a força dos sacos é perpendicular à direção do deslocamento deles.

Sobre os tópicos "Potência" e "Rendimento", os estudantes podem ser incentivados a analisar motores de automóveis e como a potência influi no rendimento do combustível – quanto maior a força de um motor, maior será a energia necessária para seu funcionamento e, consequentemente, o consumo de combustível.

A atividade da seção **Em foco**, que aborda o tema "Rios voadores da Amazônia", pode ser feita em conjunto com os professores de Biologia e/ou de Geografia, a fim de explorar a interdisciplinaridade com os estudantes. O professor de Biologia pode apresentar detalhes dos processos relativos às árvores e à água, enquanto o de Geografia pode discutir as implicações geopolíticas da floresta como uma proteção contra a desertificação de parte do Brasil. A abordagem da temática pode, ainda, ser ampliada por meio da série de *podcast* sugerida na seção **Fique por dentro**.

A resolução das atividades propostas no capitulo favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, uma vez que permite aos estudantes analisar, elaborar hipóteses e obter conclusões, tornando-se, assim, capazes de resolver situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva cientifica. Parte das atividades também contempla as habilidades **EM13MAT101** e **EM13MAT301**, por meio da análise de gráficos e funções. A **Atividade complementar** pode ser aplicada para o encerramento do estudo do tema, para verificação da aplicação prática dos conceitos estudados.

Atividade complementar

Análise do conceito de trabalho na prática

Que tal reunir os estudantes para uma atividade fora da sala de aula? Em um espaço que contenha terrenos planos e inclinados, leve-os para testar a diferença entre andar de bicicleta (ou empurrar uma mala de rodinhas pesada ou outro objeto semelhante) nos dois terrenos. Depois, inicie uma discussão em grupo para incentivá-los a conectar a experiência com os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Os estudantes devem entender que, no terreno plano, a força peso da bicicleta (ou do outro objeto) é perpendicular ao deslocamento, de modo que o trabalho da força peso é nulo (apenas o trabalho da força de atrito deve ser relevante). No caso do terreno inclinado, no entanto, o deslocamento deixa de ser perpendicular à força peso, de maneira que o trabalho da força peso deixa de ser nulo. Assim, é possível perceber que é necessário um esforço físico maior para andar de bicicleta (ou deslocar um objeto) em uma rampa. Por fim, peça aos estudantes que pensem em outros exemplos do cotidiano que podem ser explicados pelo conceito de trabalho. Caso não seja possível realizar a atividade fora de sala de aula, sugerimos uma atividade semelhante com uma tábua inclinada e objetos maciços, como um saco de arroz, ou uma atividade de discussão em sala de aula contando com as experiências prévias e a imaginação dos estudantes.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. As afirmações 01, 04 e 08 são verdadeiras, enquanto a 02 é falsa, já que o trabalho é uma grandeza escalar. Portanto, 01 + 04 + 08 = 13.

2. Não, pois a força é perpendicular à trajetória.

3. Se a força estiver no mesmo sentido ao deslocamento, o trabalho é positivo; caso contrário, é negativo.

4. **a.** O trabalho pode ser obtido a partir da área do gráfico, que, nesse caso, pode ser separada na área de um triângulo retângulo entre $x = 0$ m e $x = 2$ m (A_1), um retângulo entre $x = 2$ m e $x = 6$ m (A_2) e outro triângulo retângulo entre $x = 6$ m e $x = 8$ m (A_3).

$$\tau_1 \overset{N}{=} A_1 = \frac{b_1 \cdot h_1}{2} = \frac{2 \cdot 20}{2} \therefore \tau_1 = 20 \text{ J}$$

$$\tau_2 \overset{N}{=} A_2 = b_2 \cdot h_2 = (6 - 2) \cdot 20 = 4 \cdot 20 \therefore \tau_2 = 80 \text{ J}$$

$$\tau_3 \overset{N}{=} A_3 = \frac{b_3 \cdot h_3}{2} = \frac{(8 - 6) \cdot 20}{2} = \frac{2 \cdot 20}{2} \therefore \tau_3 = 20 \text{ J}$$

O trabalho total, portanto, será dado pela soma de todas as áreas:

$\tau_{total} \overset{N}{=} A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 = 20 + 80 + 20$

$\therefore \tau_{total} = 120\ J$

b. Analogamente ao item **a**, o trabalho pode ser obtido pelo cálculo da área do triângulo entre $x = 8$ e $x = 12$ (A_4):

$$\tau_4 \overset{N}{=} A_4 = \frac{b_4 \cdot h_4}{2} = \frac{(12 - 8) \cdot (-40)}{2} = \frac{4 \cdot (-40)}{2}$$

$\therefore \tau_4 = -80\ J$

c. O trabalho total entre $x = 0$ e $x = 12$ pode ser obtido pela soma total das áreas calculadas nos itens **a** e **b**:

$\tau_{total} \overset{N}{=} A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 20 + 80 + 20 - 80$

$\therefore \tau_{total} = 40\ J$

5. Maior, pois a potência é inversamente proporcional ao tempo.

6. O rendimento do motor é a razão entre sua potência útil e sua potência total. A potência útil do motor pode ser obtida pelo trabalho realizado durante o intervalo de tempo:

$Pot_{útil} = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{8.640}{60} \therefore Pot_{útil} = 144\ W$

A potência total é dada no enunciado:

$Pot_{total} = 200\ W$

Por fim, o rendimento pode ser calculado:

$\eta = \frac{Pot_{útil}}{Pot_{total}} = \frac{144}{200} = 0{,}72 = 72\%$

7. a. Espera-se que os estudantes verifiquem como a potência se relaciona com o funcionamento de diferentes dispositivos, máquinas e motores. Carros populares são projetados para ser mais econômicos, eficientes e consumir menos combustível que carros esportivos. A potência mais alta dos carros esportivos possibilita que eles alcancem velocidades mais altas que as alcançadas por carros populares e em um menor tempo.

b. O rendimento pode ser obtido diretamente pela razão entre as potências útil e total:

$\eta = \frac{Pot_{útil}}{Pot_{total}} = \frac{70}{210} \Rightarrow \eta \simeq 33{,}3\%$

Em foco

1. O vapor-d'água produzido pelas árvores amazônicas atravessa o céu do país, provocando chuvas na região Sudeste brasileira. Essa região está situada em uma latitude que em outras partes do mundo são desérticas.

2. a. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes pesquisem informações que subsidiem a reflexão sobre a importância de políticas públicas que garantam a preservação da Amazônia, relacionando com seu papel na manutenção da vida do país.

b. Resposta pessoal. Os estudantes podem utilizar *smartphones* para a gravação dos *podcasts*. Caso não seja possível a gravação dos *podcasts* em meio digital, a atividade pode ser realizada em sala de aula, de forma desplugada. Os estudantes, em grupos, podem preparar apresentações orais no formato de *podcast*. Se achar conveniente, após a revisão do material, organize com eles a publicação dos *podcasts* nas redes sociais e no *site* da escola, se houver, para que sejam compartilhados com os colegas, os familiares e outros membros da comunidade.

3. A massa de água associada ao volume de 1.000 L é calculada a partir de sua densidade:

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = d \cdot v \Rightarrow m = 1 \cdot 1.000 \therefore m = 1.000\ kg$

O trabalho pode ser calculado por:

$\tau = m \cdot g \cdot h = 1.000 \cdot 10 \cdot 20 \therefore \tau = 200.000\ J$

A potência média associada é então obtida a partir do trabalho e do intervalo de tempo (atentando à transformação do tempo em horas para o tempo em segundos):

$Pot = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{200.000}{12 \cdot 60 \cdot 60} \therefore Pot = 4{,}6\ W$

Atividades de fechamento

1. O módulo do deslocamento pode ser obtido a partir da expressão do trabalho em função da força, do deslocamento e do cos θ, em que θ é o ângulo entre a força e o deslocamento. Nesse caso, a força e o deslocamento estão no mesmo sentido, de modo que $\theta = 0^o$ e, portanto, $\cos \theta = 1$. O deslocamento então é obtido por:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow d = \frac{\tau}{F \cdot \cos \theta} \Rightarrow d = \frac{2.500}{100 \cdot 1} \therefore d = 25\ m$

2. O trabalho da força peso em um movimento vertical de levantamento pode ser obtido por:

$\tau = m \cdot g \cdot h = 1 \cdot 10 \cdot 1 \therefore \tau = 10\ J$

3. Para calcular o trabalho da força peso em um plano inclinado, é necessário obter primeiro o ângulo entre a força peso e o deslocamento. Sabendo que o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal é de 30º, o ângulo entre a força peso e o plano inclinado será o ângulo complementar a 30º, ou seja, 60º. De acordo com os dados do enunciado, $\cos 60^o = 0{,}5$. Então, basta utilizar a fórmula:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta = 160 \cdot 10 \cdot 0{,}5 \therefore \tau = 800\ J$

4. Alternativa **c**. Nas situações I e IV, as forças são perpendiculares ao deslocamento; portanto, o trabalho é nulo.

5. O primeiro passo do exercício é obter a direção e o sentido do deslocamento a partir da soma vetorial das forças aplicadas. Para isso, podemos decompor a força F_2 em uma componente vertical e uma componente horizontal:

$F_{2x} = F_2 \cdot \cos \theta = 100 \cdot 0{,}6 \therefore F_{2x} = 60\ N$

$F_{2y} = F_2 \cdot \text{sen}\ \theta = 100 \cdot 0{,}8 \therefore F_{2y} = 80\ N$

Agora, podemos tratar separadamente todas as forças que atuam na vertical e na horizontal:

$F_1 - F_3 - F_{2y} = 200 - 120 - 80 \therefore F_y = 0\ N$ (na vertical)

$F_4 - F_{2x} = 50 - 60 \therefore F_x = -10N$ (na horizontal)

O resultado indica que a força resultante e, portanto, o deslocamento, seguem a direção de F_4, mas com sentido contrário (devido ao valor negativo). Ou seja, o deslocamento segue a direção e o sentido de F_{2x}.

Como as forças F_1 e F_3 são perpendiculares ao deslocamento, seus trabalhos são nulos.

$\tau_1 = \tau_3 = 0\ J$

Para as demais forças, podemos calcular o trabalho a partir das forças e do deslocamento:

$\tau_2 = F_2 \cdot d \cdot \cos \theta_2 \Rightarrow \tau_2 = 100 \cdot 5 \cdot 0{,}6$

$\therefore \tau_2 = 300\ J\ (\theta_2 = 60^o)$

$\tau_4 = F_4 \cdot d \cdot \cos \theta_4 \Rightarrow \tau_4 = 50 \cdot 5 \cdot (-1)$

$\therefore \tau_4 = -250\ J\ (\theta_4 = 180^o)$

6. O trabalho pode ser obtido a partir da área do gráfico, que, nesse caso, pode ser separada na área de um triângulo retângulo e um retângulo entre $x = 0$ m e $x = 5$ m (A_1 e A_2, respectivamente), um retângulo entre $x = 5$ m e $x = 10$ m (A_3) e outro triângulo retângulo entre $x = 10$ m e $x = 15$ m (A_4).

$\tau_1 \overset{N}{=} A_1 = \frac{b_1 \cdot h_1}{2} = \frac{(20 - 10) \cdot 5}{2} = \frac{10 \cdot 5}{2} \therefore \tau_1 = 25\ J$

$\tau_2 \overset{N}{=} A_2 = b_2 \cdot h_2 = 5 \cdot 10 \therefore \tau_2 = 50\ J$

$\tau_3 \overset{N}{=} A_3 = b_3 \cdot h_3 = (10 - 5) \cdot 20 = 5 \cdot 20 \therefore \tau_3 = 100\ J$

$\tau_4 \overset{N}{=} A_4 = \frac{b_4 \cdot h_4}{2} = \frac{(15 - 10) \cdot 20}{2} = \frac{5 \cdot 20}{2} \therefore \tau_4 = 50\ J$

O trabalho total, portanto, será dado pela soma de todas as áreas:

$\tau_{total} \overset{N}{=} A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 25 + 50 + 100 + 50$

$\therefore \tau_{total} = 225\ J$

7. **a.** Dado o valor do deslocamento, que é no mesmo sentido da força aplicada, temos:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos 0^o = 10.000 \cdot 30 \cdot 1 \therefore \tau = 300\ kJ$

b. A potência pode ser calculada a partir do trabalho e do intervalo de tempo, que deve ser convertido para segundos:

$Pot_{útil} = \frac{\tau}{\Delta t} \Rightarrow Pot_{útil} = \frac{300.000}{60} \therefore Pot_{útil} = 5\ kW$

8. Alternativa **a**. A potência útil do motor pode ser calculada a partir do trabalho realizado pela força peso do portão:

$\tau = m \cdot g \cdot h = 200 \cdot 10 \cdot 1{,}5 \therefore \tau = 3.000\ J$

Que pode ser usado na expressão:

$Pot_{útil} = \frac{\tau}{\Delta t} \Rightarrow Pot_{útil} = \frac{3.000}{5} \therefore Pot_{útil} = 600\ W$

Capítulo 7 Energia e sua conservação

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar as transformações e as conservações de energia para compreender diversas situações do dia a dia.
- Explicar o movimento de corpos na Terra, no Sistema Solar e no Universo considerando a energia potencial gravitacional.
- Analisar questões e elaborar hipóteses por meio do entendimento da transformação e da conservação da energia para obter conclusões relativas a situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 4; 5; 6; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101; EM13CNT106; EM13CNT204; EM13CNT301; EM13CNT310
- **Habilidade de Matemática e suas Tecnologias:** EM13MAT301

Sugestões didáticas

O capítulo é iniciado a partir de uma discussão sobre as necessidades energéticas em diferentes sistemas e as transformações e conservações de energia envolvidas. Em seguida, são explorados o princípio de conservação de energia e o teorema trabalho-energia cinética, que exploram os comportamentos da energia em sistemas isolados e em situações em que há variação de velocidade, e, consequentemente, de energia cinética. A partir daí, são apresentados os diferentes tipos de energia a partir de suas definições e da análise de diversos exemplos. O tema favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, ao propor a análise e a representação das transformações e conservações de energia para realizar previsões em situações cotidianas e processos produtivos que priorizam o uso racional dos recursos naturais.

Se possível, leve os estudantes à sala de informática e proponha uma atividade utilizando o simulador "Energia na pista de *skate*", sugerido na seção **Fique por dentro**. Essa abordagem favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101** ao proporcionar a análise de uma situação de transformação e conservação da energia próxima do cotidiano da turma, além de promover o uso de ferramentas digitais com a finalidade de aprender, mobilizando a **competência geral 5**.

Para refletir sobre a dificuldade dos estudantes relacionadas ao tema, sugerimos como a referência suplementar o artigo NASCIMENTO, R. R. do; ANDRADE, V. L. V. X. de; RÉGNIER, J.-C. Principais dificuldades e obstáculos para aprendizagem do conceito de energia: abordagem exploratória de publicações em ensino de Ciências e tratamento no quadro da análise estatística implicativa. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 14, n. 2, 2016. O texto destaca cinco pontos sobre os quais é necessário se manter atento ao trabalhar com o conceito de energia:

1. Energia é uma grandeza do sistema, e não de um corpo.
2. São quatro as formas de manifestação da energia que se transformam entre si: a cinética (ligada ao movimento), a potencial (ligada à configuração), a de repouso (ligada à massa relativística) e a de campo (ligada aos campos gravitacional e eletromagnético).
3. Temos acesso apenas à variação da energia, e não ao seu total.
4. A energia é uma função de estado que se modifica por meio da sua relação entre calor e trabalho.
5. É possível a transformação total da energia mecânica em energia térmica. Contudo, o processo inverso, de térmica em mecânica, nunca terá rendimento máximo.

Esses cinco pontos são importantes para o professor se manter atento à definição do conceito que está sendo construído pelos estudantes. Ao abordar a temática da energia mecânica, proponha o levantamento de alguns exemplos da manifestação da energia mecânica no cotidiano. Dê atenção especial ao relacionar a energia potencial gravitacional a um resultado da interação gravitacional do corpo com a Terra, desenvolvendo com isso a habilidade **EM13CNT204**.

A seção **Em foco** apresenta uma discussão que contempla o **ODS 7** (Energia limpa e acessível), ao discutir a transformação de resíduos orgânicos em energia elétrica, e o **ODS 12** (Consumo e produção responsáveis), ao promover o entendimento da importância da reciclagem para esse processo, além de abordar o TCT **Meio ambiente**. O tema possibilita, ainda, um diálogo interdisciplinar com a Biologia, ao abordar a perspectiva ambiental ligada à produção de resíduos, com a Química, ao explorar a produção do biogás, e com a Geografia, ao avaliar os impactos sociais e analisar as infraestruturas das cidades sobre o manejo do lixo.

Para finalizar o capítulo, proponha que os estudantes respondam às questões da seção **Atividades de fechamento**. Se for plausível, divida os estudantes em pequenos grupos para que discutam essas questões e debatam as resoluções. A colaboração dos grupos em atividades que envolvem a resolução de questões favorece o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301**, ao exercitar a leitura e avaliação da informação, e **EM13MAT301**, ao explorar as elaborações matemáticas para a resolução dos problemas.

Atividade complementar

Utilizando experimentos para verificar transformações de energia

Esta atividade tem como objetivo incentivar os estudantes a desenvolver a competência de comunicação ao expor suas aprendizagens acerca das transformações de energia. Inicie solicitando aos estudantes que se reúnam em grupos de até três integrantes. Em seguida, peça a eles que busquem em fontes confiáveis três experimentos diferentes que envolvam as transformações de energia. Em cada experimento, eles devem identificar as transformações que ocorrem no processo, elaborando diagramas para ilustrá-las. Acompanhe todo o processo, garantindo que os experimentos selecionados e as explicações estão de acordo com os conteúdos estudados ao longo do capítulo. Após esse processo, os estudantes devem selecionar um dos experimentos para reproduzir em sala de aula e apresentar para a turma.

Peça para que os estudantes elaborem uma lista de materiais e verifique a viabilidade de consegui-los para a montagem. Solicite que os estudantes façam a montagem experimental e testem o seu funcionamento. Após a montagem, oriente os estudantes a elaborarem de um roteiro de apresentação, mostrando os materiais utilizados e a explicação do experimento, incluindo o diagrama da transformação de energia envolvida.

Organize uma apresentação dos experimentos para toda a turma e incentive que os demais colegas façam perguntas. Solicite que cada estudante elabore uma avaliação sobre a apresentação dos outros grupos, observando três critérios: o experimento escolhido, a apresentação e a explicação do experimento, incluindo o diagrama de transformações de energia. Se necessário, elabore coletivamente uma rubrica para facilitar o processo. Lembre os estudantes de que, na avaliação, eles devem ser críticos, mas sempre construtivos, de forma que a avaliação ajude os colegas a identificar tanto os aspectos que demonstram domínio do conteúdo da apresentação quanto aqueles que precisam ser mais desenvolvidos.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A energia total de um sistema isolado (sem trocas com um meio externo) se conserva, podendo haver apenas mudanças em sua forma. Por exemplo, um objeto caindo no chão a partir do repouso terá sua energia total conservada, mas a energia potencial gravitacional será transformada em energia cinética, considerando que o objeto se encontra em um sistema isolado.

2. A partir do teorema trabalho-energia cinética, temos:

$\Delta E_c = \tau \Rightarrow \Delta E_c = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow d = \frac{\Delta E_c}{F \cdot \cos\theta} = \frac{3}{2 \cdot 1} \therefore d = 1{,}5 \text{ m}$

3. Alternativa **b**. A energia mecânica é igual à soma das energias potencial e cinética. Atenção à unidade da massa da bola, que deve ser transformada de g para kg.

$E_{mec.} = E_c + E_p \Rightarrow E_{mec.} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{mec.} = \frac{0{,}2 \cdot 6^2}{2} + 0{,}2 \cdot 10 \cdot 2 = 3{,}6 + 4{,}0 \therefore E_{mec.} = 7{,}6 \text{ J}$

4. **a.** Energia cinética, por causa do ato de mover as mãos, transformada em energia térmica, verificada no leve aumento de temperatura das mãos e, por fim, o calor trocado das mãos com o ambiente.

b. A energia cinética do movimento das mãos é transformada, pelo trabalho realizado pelas forças de atrito no ato de esfregá-las, em energia térmica das mãos, provocando a sensação de aquecimento.

5. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes citem, por exemplo, fogos de artifício, nos quais energia química armazenada na pólvora e em outros produtos químicos inflamáveis converte-se essencialmente em energia luminosa, térmica e sonora. Outros exemplos são: a energia dos alimentos transformada em energia mecânica para o corpo se mover; a energia de pilhas transformada em energia luminosa em lanternas; a energia de bateria dos carros elétricos transformada em energia elétrica e mecânica.

Em foco

1. Considerando a média de 381 kg/ano, basta dividirmos 381 kg por 365 dias para ter a quantidade média diária por habitante.

$\frac{381 \text{ kg}}{365 \text{ dias}} = 1{,}04 \text{ kg/dia}$

Em seguida, multiplique essa razão pelo número de habitantes de seu município e você terá uma estimativa razoável.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre as regiões onde os aterros estão localizados.

3. Resposta pessoal. Os estudantes devem considerar os motivos de ter ou não ter a coleta seletiva em seus municípios e os impactos dessas políticas públicas.

4. A energia química do gás se transforma, por combustão, em energia mecânica no eixo do gerador e esta é convertida em energia elétrica. É importante salientar que ao longo do processo ocorrem dissipações de energia, especialmente em ruído e calor, o que sempre torna o rendimento do processo menor que 100%.

5. Resposta pessoal. Se achar conveniente, na sala de aula, com os estudantes, organizem os resultados da pesquisa dos diferentes grupos em um mapa de práticas sustentáveis no tratamento de resíduos. Com essa atividade, eles podem organizar e comparar os dados pesquisados para as cidades de diferentes países do mundo, incluindo dados do município onde vivem, refletindo sobre a importância dessas práticas para o desenvolvimento sustentável e para a qualidade de vida da população.

Atividades de fechamento

1. Levando em conta que a intensidade da velocidade é igual (movimento uniforme) em ambos os casos e aplicando o teorema da energia cinética, obtém-se:

$\tau_E + \tau_P = \Delta E_c \Rightarrow \tau_E + \tau_P = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_E + m \cdot g \cdot h = 0$

Como h é igual em ambos os casos, conclui-se que: $\tau_E = \tau_R$

Sendo o trajeto pela escada mais curto que ao longo da rampa e lembrando que, em ambos os casos, a intensidade da velocidade do atleta é a mesma, conclui-se que o intervalo de tempo gasto na escada é menor que aquele gasto na rampa ($\Delta t_R > \Delta t_E$).

$Pot_E = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t_E}; \; Pot_R = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t_R}$

Como a potência é inversamente proporcional ao intervalo de tempo:

$Pot_E > Pot_R$

2. Podemos usar o teorema da energia cinética, lembrando que a velocidade deve ser convertida de km/h para m/s:

$\tau_{F_{at.}} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_{F_{at.}} = 0 - \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow \tau_{F_{at.}} = 0 - \frac{58 \cdot 10^2}{2}$

$\therefore \tau_{F_{at.}} = -2.900 \text{ J}$

Sabemos que a força peso é igual à força normal em superfícies planas. Logo, a força de atrito é dada por:

$F_{at.} = N \cdot \mu = m \cdot g \cdot \mu \Rightarrow F_{at.} = 58 \cdot 10 \cdot \mu = 580\mu$

Utilizando a fórmula de trabalho da força de atrito e as duas equações anteriores, conseguimos chegar no valor de μ almejado:

$\tau_{F_{at.}} = F_{at.} \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow -2.900 = -580 \cdot \mu \cdot 10 \cdot (-1) \Rightarrow \mu = 0{,}50$

Perceba que o ângulo que a força de atrito faz com o deslocamento é de 180° e, portanto, seu cosseno vale −1. Outra forma de explicar o sinal negativo do trabalho aos estudantes é mostrando que a força é contrária ao deslocamento.

3. **a.** A força máxima aplicada pelo funcionário vale 500 N, quando $x = 0$, por exemplo.

$F_R = F + F_{at.} \Rightarrow F_R = 500 - 100 \therefore F_R = 400 \text{ N}$

b. Quando a força é variável, o método recomendado é calcular o trabalho pela área do gráfico $F \times d$. Vamos calcular o trabalho de ambas as forças por esse método:

$\tau_F + \tau_{F_{at.}} \overset{N}{=} A_1 + A_2 + A_3 + A_{at.} =$

$= \frac{b_1 \cdot h_1}{2} + \frac{b_2 \cdot h_2}{2} + \frac{b_3 \cdot h_3}{2} + b_{at.} \cdot h_{at.} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_F + \tau_{F_{at.}} \overset{N}{=} 3 \cdot \frac{500 \cdot 2}{2} - 800 \therefore \tau_F + \tau_{F_{at.}} = 700 \text{ J}$

Pelo teorema da energia cinética:

$\tau_{total} = \Delta E_c \Rightarrow 700 = \frac{m \cdot v^2}{2} - 0 \Rightarrow 700 = \frac{350 \cdot v^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow v^2 = 4 \therefore v = 2{,}0 \text{ m/s}$

4. Alternativa **c**. Quando a força é variável, o jeito recomendado é calcular o trabalho pela área do gráfico $F \times d$.

$\tau_F \overset{N}{=} A = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{240 \cdot 20}{2} \therefore \tau_F = 2.400 \text{ J}$

No problema, a força é dada como positiva, mas, ao orientarmos nossa trajetória para cima e considerando a força de resistência do meio como uma força dissipativa, consideramos o trabalho dela negativo. Logo: $\tau_F = -2.400$ J

Lembrando que a velocidade no ponto mais alto da trajetória, em um lançamento vertical, é nula e utilizando o teorema da energia cinética, obtém-se:

$\tau_{total} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_F + \tau_P = 0 - \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow -2.400 - m \cdot g \cdot h = -\frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 2.400 + 4 \cdot 10 \cdot 20 = \frac{4 \cdot v^2}{2} \Rightarrow 1.600 = v^2$

$\therefore v = 40 \text{ m/s}$

5. Alternativa **a**. A energia mecânica dissipada foi de 60%. Logo, a energia final corresponde a 40% da energia inicial.

$40\% \cdot E_{mec.\,(inicial)} = E_{mec.\,(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}4 \cdot \left(E_{pg\,(inicial)} + E_{c\,(inicial)}\right) = E_{pg\,(final)} + E_{c(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}4 \cdot \left(m \cdot g \cdot h_{(inicial)} + \frac{m \cdot v^2_{(inicial)}}{2}\right) =$

$= m \cdot g \cdot h_{(final)} + \frac{m \cdot v^2_{(final)}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}4 \cdot (30 \cdot 10 \cdot 2 + 0) = 0 + \frac{30 \cdot v^2_{(final)}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow v^2_{(final)} = 16 \therefore v_{(final)} = 4{,}0 \text{ m/s}$

Perceba que a velocidade no topo do escorregador era nula, e, portanto, anula-se a energia cinética nesse ponto. De forma semelhante, no ponto mais baixo, a altura é nula e, portanto, anula-se a energia potencial gravitacional.

6. **a.** Pelo princípio da conservação da energia mecânica, por não haver forças dissipativas, temos:

$E_{mec.(A)} = E_{mec.(B)} \Rightarrow E_{pg(A)} + E_{c(B)} = E_{pg(A)} + E_{c(B)} \Rightarrow$

$\Rightarrow m \cdot g \cdot h_{(A)} + \frac{m \cdot v^2_{(A)}}{2} = m \cdot g \cdot h_{(B)} + E_{c(B)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 30 \cdot 10 \cdot 5 + 0 = 30 \cdot 10 \cdot \frac{5}{3} + E_{c(B)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1.500 = 500 + E_{c(B)} \therefore E_{c(B)} = 1.000 \text{ J}$

b. Novamente pelo princípio da conservação da energia mecânica, temos:

$E_{mec.(A)} = E_{mec.(C)} \Rightarrow 1500 = E_{pg(C)} + E_{c(C)} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1.500 = m \cdot g \cdot h_{(B)} + \frac{m \cdot v^2_{(C)}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 1.500 = 0 + \frac{30 \cdot v^2_{(C)}}{2} \Rightarrow 100 = v^2_{(C)} \therefore v_{(C)} = 10 \text{ m/s}$

7. Alternativa **e**. Para que uma pessoa de 120 kg possa usar o equipamento, a deformação máxima dele em uso deve corresponder à distância entre a corda e o chão. Como o viaduto tem 30 m de altura e a corda relaxada tem 10 m, a distância entre a corda e o chão é de 20 m.

Considerando o princípio da conservação da energia mecânica para as energias atuantes em repouso e a máxima deformação da corda (potencial e elástica), temos:

$E_{mec.(inicial)} = E_{mec.(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{pg(inicial)} + E_{p\,elást.(inicial)} = E_{pg(final)} + E_{p\,elást.(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow m \cdot g \cdot h_{(inicial)} + 0 = 0 + \frac{k \cdot x^2_{(final)}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 120 \cdot 10 \cdot 30 = \frac{k \cdot 20^2}{2} \therefore k = 180 \text{ N/m}$

8. Desprezando a influência do ar e o atrito, podemos considerar que o sistema é conservativo, de modo que podemos usar o princípio da conservação da energia mecânica:

$E_{mec.\,(inicial)} = E_{mec.\,(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{p\,elást.(inicial)} + E_{c(inicial)} = E_{p\,elást.(final)} + E_{c(final)}$

Lembrando que a energia potencial elástica é dada por:

$E_{p\,elást.} = \frac{k \cdot x^2}{2}$

Podemos reescrever a equação, considerando que a velocidade inicial é nula e a deformação final da mola também é nula:

$\frac{k \cdot x^2}{2} + 0 = 0 + \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow k \cdot x^2 = m \cdot v^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow v^2 = \frac{k \cdot x^2}{m} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot x$

9. **a.** Utilizando o resultado obtido na atividade **8**, após adequar a unidade de medida de comprimento para metro, temos:

$v = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot x \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3{,}6 \cdot 10^3}{4}} \cdot 0{,}2 \Rightarrow$

$\Rightarrow v = \frac{60}{2} \cdot 0{,}2 \therefore v = 6 \text{ m/s}$

b. Para obter a altura máxima atingida, basta utilizar o princípio da conservação da energia mecânica:

$E_{mec.(inicial)} = E_{mec.(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{pg(inicial)} + E_{c(inicial)} = E_{pg(final)} + E_{c(final)} \Rightarrow$

$\Rightarrow m \cdot g \cdot h_{(inicial)} + \frac{m \cdot v^2_{(inicial)}}{2} = m \cdot g \cdot h_{(final)} + \frac{m \cdot v^2_{(final)}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0 + \frac{m \cdot v^2_{(inicial)}}{2} = m \cdot g \cdot h_{(final)} + 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{v^2_{(inicial)}}{2} = g \cdot h_{(final)} \Rightarrow h_{(final)} = \frac{v^2_{(inicial)}}{2 \cdot g} = \frac{6^2}{2 \cdot 10}$$

$$\therefore h_{(final)} = 1{,}8 \text{ m}$$

Capítulo 8 Quantidade de movimento e sua conservação

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar conservações em sistemas que envolvam quantidade de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas.
- Analisar questões, elaborar hipóteses e previsões usando conhecimentos sobre a quantidade de movimento e impulso; interpretar modelos explicativos para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica.
- Comunicar para públicos variados em diversos contextos resultados de experimentos, elaborando textos e debates em torno de temas científicos.
- Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas aplicando conhecimentos sobre quantidade de movimento e impulso, bem como comportamentos de segurança visando à integridade física individual e coletiva.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 4; 5; 6; 7; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101; EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT306

Sugestões didáticas

O capítulo apresenta os conceitos de quantidade de movimento e impulso a partir de uma problematização sobre tecnologias de monitoramento do trânsito, que permitem identificar a velocidade de um veículo envolvido em um acidente de trânsito, por exemplo. A abordagem contempla o **ODS 11** (Cidades e comunidades sustentáveis) e o TCT **Cidadania e Civismo**.

Em seguida, são discutidas as definições dos conceitos de quantidade de movimento e impulso de uma força a partir de exemplos, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**, ao propor a análise e representação das conservações em sistemas que envolvem quantidade de movimento.

Quantidade de movimento ou momento linear, assim como seu processo de conservação, são conceitos que devem ser bem definidos, pois os estudantes têm dificuldade em observar o movimento do sistema pelo referencial do centro de massa, que tem velocidade constante, segundo o estudo apresentado na referência suplementar SAAVEDRA, N. *et al.* O estudo das colisões por meio de um experimento assistido por computador: um enfoque no teorema do impulso e quantidade de movimento. **Atas do COBENGE**, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/11/artigos/1781.pdf. Acesso em: 11 set. 2024. Esses conceitos podem ser confundidos com o conceito de força ou com o de energia.

A seção **Em foco** aborda as tecnologias que promovem melhorias na segurança dos veículos. Sugira aos estudantes que reflitam sobre as colisões entre veículos e conversem sobre medidas como a redução da velocidade nas vias, bem como os impactos dessa medida na redução dos danos em acidentes, tanto para passageiros quanto para pedestres. A temática contempla o **TCT Cidadania e Civismo**, ao explorar discussões que envolvem a Educação para o trânsito.

A seção **Atividade comentada** apresenta um problema sobre a análise de uma colisão entre uma raquete e uma bola de tênis, cuja intensidade da força durante o período de interação entre os objetos é mostrada em um gráfico da força pelo tempo. As etapas de resolução da atividade exercitam os pilares do pensamento computacional, aprimorando o repertório de resolução de problemas dos estudantes.

A seção **Atividade comentada** apresenta um problema sobre a análise de uma colisão entre uma raquete e uma bola de tênis, cuja intensidade da força durante o período de interação entre os objetos é mostrada em um gráfico da força pelo tempo. As etapas de resolução da atividade exercitam os pilares do pensamento computacional, aprimorando o repertório de resolução de problemas dos estudantes.

Separe duas ou três aulas para o desenvolvimento da seção **Na prática** e trabalhe o conceito de colisões. O objetivo do trabalho é criar um projeto de cabine de um veículo que ofereça segurança aos "passageiros". O trabalho prático é importante para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, propondo aos estudantes que avaliem os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos de Física sobre quantidade de movimento e impulso e comportamentos de segurança, visando à integridade física individual e coletiva. Por ser uma atividade investigativa, reforça a aprendizagem em relação à habilidade **EM13CNT301**.

Com base nessa proposta, é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT302**, pois os estudantes devem comunicar seus resultados experimentais e interpretar tabelas, gráficos e equações por meio de um *software*, para debater um tema tecnológico de relevância social. Também promove as **competências gerais 4**, **7** e **9**, pois terão de comunicar e argumentar, de maneira clara, aos colegas os resultados de experimentos com base em dados. Essa atividade promove também o desenvolvimento da **competência geral 2**, pois incentiva o exercício da curiosidade, da investigação, da reflexão, da análise crítica, da imaginação e da criatividade para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos de diferentes áreas.

Incentive os estudantes a explorar o *site* indicado na seção **Fique por dentro**, que permite analisar diversos tipos de colisão, definindo as massas e as velocidades das partículas envolvidas na colisão, favorecendo o trabalho com a **competência geral 5**, proporcionando aos estudantes a utilização de recursos multimídia para apoiar a aprendizagem.

Por fim, solicite que os estudantes resolvam as questões propostas na seção **Atividades de fechamento**. Essas atividades favorecem o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT301**, uma vez que os estudantes deverão analisar as transformações e as conservações de quantidade de movimento de situações cotidianas e elaborar questões, hipóteses, realizar previsões e estimativas para sua resolução.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. a. Essas duas forças têm intensidades iguais (MRU: equilíbrio dinâmico).

b. Sendo a massa e a velocidade vetorial constantes, não há variação da quantidade de movimento.

c. Sim, pois, conforme o teorema do impulso, a variação da quantidade de movimento é nula.

2. No ato da colisão, no processo de frenagem, os dois ovos sofrerão iguais variações de quantidade de movimento, o que exigirá em ambos os casos iguais impulsos de retardamento (teorema do impulso). No ovo *A*, a frenagem é súbita. Isso exigirá uma força de grande intensidade que quebrará esse ovo. Já no ovo *B*, a frenagem é lenta. Isso exigirá uma força de intensidade menor que não quebrará esse ovo.

3. **a.** O avião descreve na área de escape um movimento uniformemente retardado. Sendo a velocidade $v_0 = 54$ km/h $= 15$ m/s, a distância percorrida é determinada por:

$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{v_0 + v}{2} \Rightarrow \frac{\Delta s}{3{,}0} = \frac{15 + 0}{2}$

$\therefore \Delta s = 22{,}5$ m

b. Aplicando-se o teorema do impulso, vem:

$\vec{I} = \vec{Q}_{final} - \vec{Q}_{inicial} \Rightarrow F_m \cdot \Delta t = 0 - m \cdot v_{inicial} \Rightarrow$

$\Rightarrow F \cdot 3{,}0 = -24 \cdot 10^3 \cdot 15$

$\therefore F = -120$ kN e $|F| = 120$ kN

4. Com as unidades de medida no SI, temos:

$m = 0{,}50$ kg; $\Delta t = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ s; $v = 25$ m/s

Da área sob o gráfico, temos:

$I \overset{N}{=} A_{F \times t} \Rightarrow I = \frac{F_{máx.} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-3}}{2}$

Pelo teorema do impulso, o impulso da força resultante é igual à variação da quantidade de movimento.

$I = Q_{final} - Q_{inicial} \Rightarrow I = m \cdot (v_{final} - v_{inicial}) \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{F_{máx.} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-3}}{2} = 0{,}50 \cdot (25 - 0) \Rightarrow F_{máx.} = \frac{2 \cdot 0{,}50 \cdot 25}{10^{-3}}$

$\therefore F_{máx.} = 25$ kN

5. O sistema é isolado de forças externas; assim:

$\vec{Q}_{final} = \vec{Q}_{inicial} \Rightarrow \vec{Q}_A + \vec{Q}_F = \vec{0} \Rightarrow \vec{Q}_A = -\vec{Q}_F$

Essa expressão revela que o astronauta vai adquirir quantidade de movimento de mesmo módulo e direção que a adquirida pela ferramenta, mas com sentido oposto. Em módulo, temos:

$Q_A = Q_F \Rightarrow m_A v_A = m_F v_F \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{v_A}{v_F} = \frac{m_F}{m_A} \Rightarrow \frac{v_A}{24} = \frac{2{,}0}{200} \Rightarrow v_A = \frac{24}{100} \therefore v_A = 0{,}40$ m/s

6. Uma colisão é caracterizada como elástica, inelástica ou parcialmente elástica. O coeficiente de restituição é um valor numérico associado a essa classificação, correspondendo aos valores zero para totalmente inelástica e 1 para totalmente elástica. Nas colisões parcialmente elásticas, o valor desse parâmetro é intermediário entre zero e 1. Nas colisões inelásticas, a deformação permanente é maior e a velocidade de afastamento entre os corpos (que colidiram) é nula. Em uma colisão perfeitamente elástica, não há deformação permanente, isto é, caso ocorra uma pequena deformação nas superfícies de contato durante a colisão, a forma das superfícies será restituída e voltará ao normal após a colisão.

7. Alternativa **c**. Na colisão parcialmente inelástica, como a ocorrida, bem como em qualquer colisão mecânica, ocorre conservação da quantidade de movimento total (sistema isolado de forças externas). No caso da colisão parcialmente inelástica, porém, há dissipação de energia mecânica e a energia cinética final é menor que a inicial.

$0 < e < 1{,}0 \Rightarrow v_{rel.\ afast.} < v_{rel.\ aprox.} \Rightarrow E_{c_{final}} < E_{c_{inicial}}$

8. **a.** Trata-se de uma colisão oblíqua, já que, depois do choque, as bolas adquirem movimentos segundo direções diferentes da descrita inicialmente pela bola branca.

b. A quantidade de movimento total do sistema é conservada, mas a energia mecânica total, não. No ato da colisão há produção de ruído, o que denota dissipação de energia mecânica.

Em foco

1. Aproximadamente 0,3 carro por habitante.

2. A elevada relação entre carros e habitantes impacta negativamente a sustentabilidade energética e o meio ambiente. O aumento da frota resulta em maior consumo de combustíveis fósseis, elevando as emissões de gases de efeito estufa e agravando a poluição. Para mitigar esses efeitos, é essencial promover energias limpas e incentivar transportes mais sustentáveis, como veículos elétricos e o uso de transporte público eficiente. Essa questão trabalha com o **ODS 11** (Cidades e comunidades sustentáveis), pois aborda a necessidade de promover formas de transporte mais sustentáveis e eficientes para reduzir os impactos ambientais nas cidades, e o **ODS 7** (Energia limpa e acessível), ao destacar a importância de uma transição para energias mais limpas no setor de transportes.

3. Os sistemas de *airbags* e os dispositivos pré-tensionadores contribuem para a segurança dos condutores e passageiros, reduzindo o espaço livre do ocupante durante a colisão, o que diminui o movimento do corpo para frente e para trás, reduzindo o risco de lesões cervicais.

4. A redução da massa dos veículos tornou os carros mais flexíveis e menos rígidos, permitindo que absorvam melhor o impacto e dissipem a energia ao longo da carroceria, o que diminui significativamente os riscos de mortes e lesões em caso de colisão porque reduz o impacto nos passageiros.

Na prática

1. Desconsiderando a resistência do ar, a linha de tendência obtida na planilha é equivalente a $s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$. Portanto, a aceleração de queda corresponde ao dobro do valor que está multiplicando o tempo ao quadrado na equação obtida pelo ajuste na planilha eletrônica.

2. Observando a tabela de altura em função do tempo, determinamos o instante em que a velocidade para de aumentar, isto é, o instante em que deixa de ocorrer acréscimo na velocidade de queda em relação ao intervalo anterior. Determinando esse instante e chamando-o de t_2, calculamos a velocidade de chegada ao solo como $v = v_0 + at \Rightarrow v = a \cdot t_2$, uma vez que v_0 é nulo. Para calcular pelo segundo método, toma-se como h_2 a altura no instante t_2 (determinado anteriormente) e toma-se como h_1 a altura na célula anterior da tabela, correspondente a um quadro de observação anterior. A velocidade média nesse intervalo é calculada como $v_m = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1}$.

Em geral, há uma pequena diferença entre os dois resultados decorrentes de erros experimentais.

3. Chamando de v a velocidade de aproximação (calculada na questão 2) e de v' a velocidade de afastamento, o coeficiente de restituição pode ser calculado como $e = \frac{v'}{v}$. Se v' for 0, a colisão será classificada como totalmente inelástica. Sendo v' diferente de zero, ele será sempre menor que v, uma vez que em qualquer material utilizado haverá dissipação de energia durante a colisão.

Dessa forma, a colisão será parcialmente elástica.

4. Sabendo a massa m do passageiro, os módulos das quantidades de movimento podem ser calculados como:
$Q_{antes} = mv$ e $Q_{depois} = mv'$
em que v e v' foram determinados nas resoluções das questões 2 e 3. Como o impulso total durante a colisão corresponde à variação da quantidade de movimento e como a quantidade de movimento final é oposta à quantidade de movimento inicial, temos:
$\vec{I} = \vec{Q}_{depois} - \vec{Q}_{antes} \Rightarrow |\vec{I}| = |\vec{Q}_{depois}| + |\vec{Q}_{antes}|$

5. Em geral, quanto maior for a deformação permanente do veículo, isto é, quanto mais inelástica for a colisão, menor será a quantidade de movimento após a colisão. Quanto menor a quantidade de movimento depois da colisão, menor o impulso aplicado no passageiro. Como o objetivo da atividade é proteger o passageiro, queremos justamente o menor impulso possível.

6. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem as eventuais dificuldades encontradas durante a realização do experimento e as registrem, propondo sugestões de melhorias.

7. Resposta pessoal. Nesse momento, incentive os estudantes a discutir os resultados diferentes que foram obtidos e as diversas formas encontradas para solucionar o problema.

Atividades de fechamento

1. **a.** O impulso resultante comunicado ao aviãozinho no ato do lançamento é a soma vetorial do impulso devido à força aplicada pela mão da pessoa, $\vec{F}$, com o impulso retardador provocado pela força de resistência do ar, $\vec{F}_{ar}$.
Sendo I a intensidade do impulso total, tem-se:
$I = (F - F_{ar}) \cdot \Delta t \Rightarrow I = (8{,}0 - 2{,}0) \cdot 10^{-1} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-1}$
$\therefore I = 1{,}2 \cdot 10^{-1}$ N · s
b. Aplicando-se o teorema do impulso, vem:
$I = Q_{final} - Q_{inicial} \Rightarrow I = mv - 0 \Rightarrow$
$\Rightarrow 1{,}2 \cdot 10^{-1} = 3{,}0 \cdot 10^{-3} v \therefore v = 40{,}0$ m/s

2. Em cada trem de pouso principal atuam na direção vertical duas forças: meio peso da aeronave, $\frac{\vec{P}}{2}$, e a força normal de contato exercida pela pista, $\vec{F}_N$.
Aplicando-se o Teorema do Impulso ao avião, determina-se a intensidade de $\vec{F}_N$:
$\vec{I}_{total} = \Delta\vec{Q} \Rightarrow \vec{F}_{res} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v} \Rightarrow$
$\Rightarrow \left(F_N - \frac{P}{2}\right) \Delta t = \frac{M}{2} \cdot \left[0 - (-v_{0_V})\right] \Rightarrow$
$\Rightarrow \left(F_N - \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 10}{2}\right) \cdot 0{,}10 = \frac{60 \cdot 10^3}{2} \cdot \left(0 + \frac{36}{3{,}6}\right) \Rightarrow$
$\Rightarrow F_N - 3{,}0 \cdot 10^5 = 30 \cdot 10^5 \therefore F_N = 3{,}3 \cdot 10^6$ N
Pela terceira lei de Newton, a intensidade média da força vertical de impacto que a pista recebe de cada trem de pouso principal durante 0,10 s correspondente à imobilização vertical da aeronave tem o mesmo valor determinado para $F_N = 3{,}3 \cdot 10^6$ N.

3. Alternativa **d**. Pelo teorema do impulso:
$\vec{I} = \Delta\vec{Q} \Rightarrow |\vec{F}_m| \cdot \Delta t = m \cdot |\Delta\vec{v}|$
Adotando-se positivo o sentido da velocidade final da bola, vem:
$|\vec{F}_m| \cdot 0{,}20 = 0{,}40 \cdot [20 - (-20)] \Rightarrow |\vec{F}_m| = \frac{0{,}40 \cdot 40}{0{,}20}$
$\therefore |\vec{F}_m| = 80$ N

4. Alternativa **b**. O módulo do impulso é calculado pela soma das áreas entre os gráficos e o eixo dos tempos.
$I = F \cdot T_1 + 2F \cdot T_2 \Rightarrow I = F \cdot (T_1 + 2T_2)$
Pelo teorema do impulso, determina-se a velocidade escalar adquirida pelo veículo.
$I = Mv - Mv_0 \Rightarrow F \cdot (T_1 + 2T_2) = Mv - 0 \therefore v = \frac{F(T_1 + 2T_2)}{M}$

5. Alternativa **d**. Se forem soltas duas esferas de um lado, ocorrerá a conservação da quantidade de movimento total do sistema e se elevarão apenas duas esferas do lado oposto. Como as colisões são instantâneas, perfeitamente elásticas e não há dissipação da energia, a energia mecânica total do sistema também se conserva.

6. Cálculo do impulso total de R em $\Delta t = 5{,}0$ s:
$I \overset{N}{=} A_{R \times t} \Rightarrow I = 3 \cdot \frac{(140 + 100) \cdot 1{,}0}{2} \therefore I = 360$ N · s
Pelo teorema do impulso:
$I = Q_{final} - Q_{inicial} \Rightarrow I = mv_{final} = mv_{inicial} \Rightarrow$
$\Rightarrow 360 = 60v \therefore v = 6{,}0$ m/s

7. Alternativa **b**. A velocidade do poleiro após a interação pode ser obtida a partir da relação de conservação da energia mecânica:
$E_{final} = E_{inicial} \Rightarrow mgh = \frac{mv_A^2}{2} \Rightarrow$
$\Rightarrow v_A = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-2}} \therefore v_A = 1{,}0$ m/s
A conservação da quantidade de movimento na interação passarinho-poleiro é dada por:
$\vec{Q}_{final} = \vec{Q}_{inicial} \Rightarrow \vec{Q}_A + \vec{Q}_B = \vec{0} \Rightarrow \vec{Q}_A = -\vec{Q}_B \Rightarrow$
$\Rightarrow |\vec{Q}_A| = |\vec{Q}_B| \Rightarrow m_A v_A = m_B v_B \Rightarrow 80 \cdot 1{,}0 = 40 \cdot v_B$
$\therefore v_B = 2{,}0$ m/s

8. **a.** O sistema é isolado de forças externas e a quantidade de movimento total deve permanecer constante. No caso, constante e igual a zero, o que corresponde à situação inicial.
$\vec{Q}_{final} = \vec{Q}_{inicial} \Rightarrow \vec{Q}_P + \vec{Q}_B = \vec{0}$ (constante)
Por isso, quando o pescador anda, o bote anda e, quando o pescador para, o bote também para.
b. Da equação obtida no item **a**:
$\vec{Q}_B = -\vec{Q}_P \Rightarrow Q_B = Q_P \Rightarrow 3Mv_B = Mv_P \Rightarrow$
$\Rightarrow 3\frac{D}{\Delta t} = \frac{L - D}{\Delta t} \Rightarrow 3D = L - D \Rightarrow$
$\Rightarrow 4D = L \Rightarrow 4D = 4{,}0 \therefore D = 1{,}0$ m

9. Alternativa **b**. Cálculo do módulo da velocidade no instante da colisão:
$E_{final} = E_{inicial} \Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} = mgh \Rightarrow v_1 = \sqrt{2gh}$ (1)
Conservação da quantidade de movimento no ato da colisão:
$Q_{final} = Q_{inicial} \Rightarrow 2mv_2 = mv_1 \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{2}$
Conservação da energia mecânica após a colisão:
$E_{final} = E_{inicial} \Rightarrow 2mgH = \frac{2mv_2^2}{2} \Rightarrow H = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{\left(\frac{v_1}{2}\right)^2}{2g} \Rightarrow$
$\Rightarrow H = \frac{v_1^2}{8g}$ (2)
Substituindo (1) em (2), obtemos:
$H = \frac{1}{8g} \cdot 2gh \Rightarrow H = \frac{h}{4}$

10. Alternativa **e**.
$Q_A = m v_A;\ Q_B = m v_B;\ Q_{inicial} = Q_A + Q_B$
$Q_{inicial}^2 = Q_A^2 + Q_B^2 \Rightarrow Q_{inicial}^2 = m^2 v_A^2 + m^2 v_B^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow Q^2_{\text{inicial}} = m^2 \cdot [(9{,}0)^2 + (12{,}0^2)] \Rightarrow$

$\Rightarrow \ Q^2_{\text{inicial}} = m^2 \cdot 225{,}0 \Rightarrow Q_{\text{inicial}} = m \cdot 15{,}0$

Assim, no ato da colisão:

$Q_{\text{final}} = Q_{\text{inicial}} \Rightarrow 2mv_{\text{final}} = m \cdot 15{,}0 \therefore v_{\text{final}} = 7{,}5 \text{ m/s}$

11. a. A situação é análoga a uma colisão totalmente inelástica entre dois corpos, devendo ocorrer conservação da quantidade de movimento total.

$Q_{\text{final}} = Q_{\text{inicial}} \Rightarrow (m_A + m_B) \cdot v = m_A v_A + m_B v_B \Rightarrow$

$\Rightarrow (9{,}0 + 1{,}0) \cdot v = 9{,}0 \cdot 60 + 1{,}0 \cdot (-20)$

$\therefore v = 52 \text{ cm/s}$

b. A relação entre as energias cinéticas fica determinada por:

$$\frac{E_{c_{(final)}}}{E_{c_{(inicial)}}} = \frac{\frac{(m_A + m_B) \cdot v^2}{2}}{\frac{m_A v_A^2}{2} + \frac{m_B v_B^2}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{E_{c_{(final)}}}{E_{c_{(inicial)}}} = \frac{\frac{(9{,}0 + 1{,}0) \cdot (0{,}52)^2}{2}}{\frac{9{,}0 \cdot (0{,}60)^2}{2} + \frac{1{,}0 \cdot (-0{,}20)^2}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{E_{c_{(final)}}}{E_{c_{(inicial)}}} \simeq 0{,}82 \Rightarrow E_{c_{(final)}} \simeq 82\% \, E_{c_{(inicial)}}$$

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. As atividades propostas nos capítulos podem ser usadas para avaliação formativa, como acompanhamento das aprendizagens e como subsídio para as intervenções necessárias. A seção **Atividades de fechamento** visa avaliar a aprendizagem dos principais conteúdos abordados, incluindo atividades de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Educação midiática

O objetivo dessa seção é fomentar a discussão sobre conteúdos de divulgação científica disponíveis em diferentes mídias, favorecendo o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT303** e **EF69LP29** (Refletir sobre a relação entre os contextos de produção dos gêneros de divulgação científica – texto didático, artigo de divulgação científica, reportagem de divulgação científica, verbete de enciclopédia (impressa e digital), esquema, infográfico (estático e animado), relatório, relato multimidiático de campo, *podcasts* e vídeos variados de divulgação científica etc. – e os aspectos relativos à construção composicional e às marcas linguísticas características desses gêneros, de forma a ampliar suas possibilidades de compreensão (e produção) de textos pertencentes a esses gêneros.), ao refletir sobre os contextos em que os conteúdos de divulgação científica foram produzidos. Ideias para o desenvolvimento dessa seção podem ser encontradas no plano de aula GOMES, D. L. **Plano de aula**: contexto de produção e composição do artigo de divulgação científica. **Nova Escola**. São Paulo. Disponível em: https://novaescola.org.br/planos-de-aula/fundamental/9ano/lingua-portuguesa/contexto-de-producao-e-composicao-do-artigo-de-divulgacao-cientifica/3053. Acesso em: 16 out. 2024.

Um recurso para fomentar a discussão sobre a diferença entre divulgação científica e comunicação científica é apresentar o *podcast* FAROL: conexões da informação. **Divulgação científica e comunicação científica**: qual a diferença?. [Locução de]: Lucas George Wendt. Entrevistado: Rodrigo Silva Caxias de Sousa. Porto Alegre: Lúmina *podcasts*, 17 fev. 2023. *Podcast*. Disponível em: https://www.ufrgs.br/luminapodcasts/site/episodio/divulgacao-cientifica-e-comunicacao-cientifica-qual-diferenc. Acesso em: 3 nov. 2024. O *podcast* foi produzido pela comunidade da pós-graduação em Museologia e Patrimônio da UFRGS. Relacione a discussão com o relatório CGEE. **Percepção pública da C&T no Brasil** – 2023. Resumo Executivo. Brasília, DF: CGEE, 2024. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/4686075/CGEE_OCTI_Resumo_Executivo-Perc_Pub_CT_Br_2023.pdf. Acesso em: 16 out. 2024, para dar destaque aos resultados sobre as formas de acesso da população a informações sobre Ciência e Tecnologia.

A atividade proposta na **Ampliação de repertório** favorece o desenvolvimento de diversas habilidades ao longo de suas etapas e da **competência geral 2**, ao solicitar aos estudantes que recorram às ciências para realizar investigações. Para orientar a criação do mapa conceitual, apresente o tutorial MACKENZIE. **Tutorial**: mapa mental e conceitual. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, [*S. d.*]. Disponível em: https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/8-ead/graduacao/tutoriais/tutorial_mapa_mental.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

Com base nas atividades realizadas nas etapas anteriores, a **Produção de conteúdo** propõe a elaboração de um texto de divulgação científica, que pode ser disponibilizado para a comunidade em plataformas digitais ou em murais na escola, por exemplo. Diferentes habilidades são desenvolvidas ao longo desse processo, como as habilidades da Computação **EM13CO20** (Criar conteúdos, disponibilizando-os em ambientes virtuais para publicação e compartilhamento, avaliando a confiabilidade e as consequências da disseminação dessas informações.) e **EM13CO21** (Comunicar ideias complexas de forma clara por meio de objetos digitais como mapas conceituais, infográficos, hipertextos e outros.). As habilidades **EF69LP36** (Produzir, revisar e editar textos voltados para a divulgação do conhecimento e de dados e resultados de pesquisas, tais como artigos de divulgação científica, verbete de enciclopédia, infográfico, infográfico animado, *podcast* ou *vlog* científico, relato de experimento, relatório, relatório multimidiático de campo, dentre outros, considerando o contexto de produção e as regularidades dos gêneros em termos de suas construções composicionais e estilos.) e **EM13CNT302** podem ser desenvolvidas com a comunicação dos resultados de pesquisas científicas em um gênero específico da divulgação. Além disso, as **competências gerais 4**, **5** e **7** são desenvolvidas, pois a atividade fomenta o uso de diferentes linguagens e de tecnologias digitais para apresentar argumentos científicos de forma crítica e responsável.

A **Autoavaliação** é uma forma de estimular a autonomia do estudante, possibilitando que ele acompanhe a evolução de seu aprendizado e identifique os pontos que precisam ser melhor desenvolvidos. As rubricas correspondem a uma possibilidade de organizar e estabelecer alguns parâmetros para facilitar a reflexão dos estudantes a respeito dos critérios utilizados no processo. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante, para cada um dos critérios sugeridos.

UNIDADE 3

ÁGUA E ALIMENTOS

A humanidade precisa comer, e com o crescimento populacional, a produção, armazenamento e distribuição de alimentos aumentam, ampliando também o impacto ambiental. Os capítulos dessa unidade integram conhecimentos das Ciências da Natureza para estimular reflexões e soluções criativas, funcionais e sustentáveis para problemas locais e globais. Os conteúdos incentivam ações que minimizem o desperdício e os impactos socioambientais da produção, promovendo segurança alimentar e a agricultura sustentável, tanto em escala individual quanto coletiva, relacionados ao **ODS 2** (Fome Zero e Agricultura Sustentável). A planta zínia mostrada no início da unidade pode ser uma forma de fomentar o início da discussão sobre a relação entre gravidade e vida terrestre, conectando os temas dos capítulos.

1. Espera-se que os estudantes indiquem que os satélites voam, flutuam ou giram junto com a Terra. Nesse momento, aproveite para explorar as respostas e introduzir a ideia de órbita e que, da mesma forma que a Lua, os satélites artificiais se mantêm em órbita pela combinação entre a velocidade de movimento e a atração gravitacional da Terra, criando um equilíbrio entre cair e seguir em linha reta.
2. Espera-se que os estudantes citem exemplos de máquinas simples de seus cotidianos, como tesouras e balanços. Suas respostas podem mencionar apenas o uso prático das máquinas. Nesse momento, complemente destacando conceitos como vantagem mecânica e eficiência, e como esses princípios foram aplicados desde a Antiguidade para construir ferramentas, sendo ainda essenciais em tarefas rurais e urbanas.
3. Espera-se que os estudantes reconheçam algumas mudanças de estado físico no ciclo da água, como evaporação e condensação. Podem associar a evaporação com o calor e a formação de nuvens e a condensação com a chuva. O impacto na agricultura pode ser relacionado à falta ou excesso de chuva para a produção de alimentos. É possível aprofundar explicando como variações na precipitação afetam safras, causando problemas como secas ou enchentes, e como a regulação climática depende do ciclo da água.

Capítulo 9 Gravitação e monitoramento por satélites

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Reconhecer e elaborar explicações, previsões e cálculos relacionados a objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo por meio da análise das interações gravitacionais.
- Elaborar previsões e estimativas, interpretar modelos explicativos e resultados experimentais usando conceitos de gravitação em situações-problema sob uma visão científica.
- Reconhecer as características do funcionamento de satélites e sistemas de navegação para compreender as tecnologias contemporâneas utilizadas por esses instrumentos.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 4; 6; 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT201; EM13CNT204; EM13CNT301; EM13CNT308

Sugestões didáticas

O capítulo 9 trata das leis de Kepler e da ação da força gravitacional, explorando sobretudo aspectos relativos a satélites e seus usos.

Os estudantes podem ser incentivados a fazer a leitura inicial do capítulo, registrando no caderno a diferença entre satélites naturais e artificiais, a importância dos satélites e se atualmente é possível a vida do ser humano sem o uso deles. Depois, eles podem se reunir em grupos para discutir e apresentar as respostas, fazendo uma síntese das principais ideias e, assim, desenvolvendo a habilidade **EM13CNT308** e favorecendo a **competência geral 4**, uma vez que os estudantes terão de expressar domínio de aspectos retóricos da comunicação verbal.

Para auxiliar na abordagem da primeira lei de Kepler, sugerimos a referência suplementar SILVA, V. R. R. **As leis de Kepler por meio de simulações computacionais**. Volta Redonda: Universidade Federal Fluminense, 18 ago. 2017. Disponível em: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/716218/2/T2014_Victor%20Rocha%20Rodrigues%20da%20Silva_Produto.pdf. Acesso em: 3 nov. 2024. O texto propõe uma breve discussão do ensino das leis de Kepler por meio das estratégias de simulações computacionais e sequências de atividades. Ele também aponta que um dos motivos para que os estudantes não compreendam esse conteúdo é a falta de conhecimentos sobre a elipse e suas propriedades, e as concepções ligadas a questões estéticas levam os estudantes à preferência pelo formato circular. Proponha que os estudantes pesquisem como construir uma elipse em folhas de papel usando tachinhas (ou pregos), barbante e lápis; essa atividade favorece o trabalho com a habilidade **EM13CNT301** e a **competência geral 2**.

No desenvolvimento da atividade, os estudantes devem compreender as principais diferenças entre a elipse e a circunferência, relacionando os conceitos de raio, eixo maior, eixo menor, foco, centro e excentricidade. É importante que eles compreendam que a circunferência é um caso específico de uma elipse, que possui excentricidade igual a zero.

Se desejar aprofundar o assunto, desenvolvendo a habilidade **EM13CNT201** e a **competência geral 1**, utilize o contexto histórico que envolveu Tycho Brahe e Kepler, com base nas referências suplementares: MEDEIROS, A. Entrevista com Tycho Brahe. **Física na Escola**, v. 2, n. 2, 2001. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol02-Num2/a061.pdf. Acesso em: 29 out. 2024; MEDEIROS, A. Entrevista com Kepler: do nascimento à descoberta das duas primeiras leis. **Física na Escola**, v. 3, n. 2, 2002. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol03-Num2/a091.pdf. Acesso em: 29 out. 2024. Os artigos apresentam dois diálogos bem-humorados desses cientistas, em que contextualizam o processo de desenvolvimento de tomada de dados e de suas teorias.

Para ter subsídios a fim de trabalhar com os textos, incluindo considerações epistemológicas e metodológicas, sugerimos a referência suplementar PRAXEDES, G.; PEDUZZI, L. O. Q. Tycho Brahe e Kepler na escola: uma contribuição à inserção de dois artigos em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31. n. 3, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/MmHhBcdQy4QygP6gWHDh8cN/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 3 nov. 2024.

Durante a abordagem dos conceitos de força e campo gravitacional, sugerimos que a definição de um campo de força seja enfatizada para que os estudantes compreendam o princípio de ação de uma força à distância – isto é, sem contato – o que contribui para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT204** e **EM13CNT301**.

Para a abordagem do conceito de marés, sugerimos a referência suplementar QUADROS, T.; MONTEIRO R.; ALMEIDA, R. **Como funciona a influência da Lua nas marés**. [*S.l.*]: Nexo, 26 maio 2017. 1 vídeo (1 min 57 s). Disponível em: https://www.nexojornal.com.br/video/2017/05/26/como-funciona-a-influencia-da-lua-nas-mares. Acesso em: 3 nov. 2024. O vídeo, com modelo de representação da ação das forças gravitacionais da Lua e do Sol na formação das marés, pode auxiliar os estudantes na visualização do fenômeno da explicação.

No tópico de satélites artificiais, sugerimos uma discussão em sala de aula sobre os principais aspectos relacionados à história do surgimento dos satélites artificiais e suas diferentes funções na atualidade, como o GPS, os telescópios e os satélites de monitoramento da agricultura. Esclareça a relação entre a velocidade orbital dos satélites, as leis de Kepler e a Gravitação Universal. Nesse tópico, há o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT308**.

Para finalizar, os estudantes podem se separar em grupos para pesquisar os diferentes satélites que atuam no território brasileiro e a importância deles para o desenvolvimento da sociedade, trabalhando o desenvolvimento das **competências gerais 1**, **6** e **7**.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. **I.** Incorreta: as órbitas planetárias são elípticas, mas com o Sol ocupando um dos focos da elipse.

II. Correta: pela segunda lei de Kepler, a Terra varre áreas da órbita elíptica iguais em tempos iguais. Considerando duas áreas iguais, uma contendo o afélio (distância longa e comprimento do arco menor) e outra contendo o periélio (distância curta e comprimento do arco maior), a intensidade da velocidade orbital será maior quando o comprimento de arco for maior, portanto a velocidade mais alta será no periélio.

III. Correta: quanto mais distante do Sol é a órbita de um planeta, maior será o seu raio médio e maior será o seu ano (período de translação).

IV. Incorreta: as órbitas circulares são um caso particular de elipse, em que os focos coincidem no centro da figura geométrica e a excentricidade é igual a zero.

2. Os planetas do Sistema Solar descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol, estando a estrela situada em um dos focos da elipse.

3. Em uma órbita planetária elíptica, o afélio corresponde ao ponto da órbita mais distante do Sol e o periélio corresponde ao ponto da órbita mais próximo do Sol. De acordo com a primeira e a segunda lei de Kepler, a intensidade da velocidade orbital é máxima no periélio e mínima no afélio.

4. Para obtermos a força gravitacional em função das massas e da distância entre os corpos, podemos substituir os valores na expressão, lembrando de converter a distância de cm para m:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} \Rightarrow F = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{700 \cdot 700}{(5 \cdot 10^{10})^2}$$

$$\therefore F = 1{,}31 \cdot 10^{-26}\ \text{N}$$

5. Alternativa **a**. Podemos comparar a gravidade na Terra com a gravidade no planeta descrito com uma razão entre as acelerações:

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2} \Rightarrow \frac{g_p}{g_T} = \frac{\frac{G \cdot M_p}{R_p^{\,2}}}{\frac{G \cdot M_T}{R_T^{\,2}}} \Rightarrow \frac{g_p}{g_T} = \frac{M_p \cdot R_T^{\,2}}{M_T \cdot R_p^{\,2}}$$

Então podemos substituir os valores de massa e raio do planeta em função da massa e do raio da Terra e $g_T = 10\ \text{m/s}^2$:

$$\frac{g_p}{10} = \frac{(4 \cdot M_T) \cdot R_T^{\,2}}{M_T \cdot (4 \cdot R_T)^2} \Rightarrow g_p = \frac{10}{4} \therefore g_p = 2{,}5\ \text{m/s}^2$$

6. Desprezando-se a influência do ar, durante o movimento em trajetória parabólica, a força resultante no avião e também nos passageiros é a força da gravidade (peso) e a correspondente aceleração é $\vec{g}$. Logo, tudo se passa como se o sistema estivesse em queda livre, situação em que os objetos "flutuam" dentro do veículo em que estão contidos.

Em foco

1. A EEI foi montada por módulos, que foram lançados separadamente, para serem acoplados e conectados no espaço.

2. Não, pois, para determinada velocidade orbital, o raio de órbita independe da massa do corpo que percorre a órbita.

3. Essa reposição é feita por meio de suplementos alimentares e musculação, que é praticada a bordo da EEI.

4. Os suprimentos são enviados periodicamente para a estação por naves de carga.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **a**. De acordo com a segunda lei de Kepler, o planeta varre áreas iguais em tempos iguais. Portanto, se A_1 e A_2 são iguais, os tempos para percorrer os arcos *AB* e *BC* são iguais, valendo $\frac{T}{5}$ cada. O tempo necessário para percorrer o arco *AC* é dado pela soma $\frac{T}{5} + \frac{T}{5} = \frac{2 \cdot T}{5}$. Por fim, o tempo necessário para percorrer o arco *CA* pode ser obtido pela diferença entre o período total e o tempo gasto no arco *AC*:

$$T - \frac{2 \cdot T}{5} = \frac{3 \cdot T}{5}$$

2. Alternativa **c**. De acordo com a segunda lei de Kepler, o planeta varre áreas iguais da órbita elíptica em intervalos de tempo iguais, ou seja, o tempo necessário para a Terra ir de *P* até *M* (janeiro até maio) é o mesmo para ir de *A* até *N*, de 4 meses. Portanto, a Terra deve passar pelo ponto *N* no início de novembro.

3. **a.** Aplicando a terceira lei de Kepler, temos:

$$\frac{T_A^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R_B^3} \Rightarrow \frac{(27 \cdot T_B)^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R^3} \therefore R_A = 9 \cdot R$$

b. Se a distância entre o centro da Terra e o satélite *B* vale *R* e a distância entre o centro da Terra e o satélite *A* vale $9 \cdot R$, a distância mínima entre os dois satélites será $9 \cdot R - R = 8 \cdot R$ (quando os dois satélites estiverem alinhados com o satélite *A* logo acima do satélite *B*). Por outro lado, a distância máxima ocorrerá quando os satélites estiverem nos extremos opostos de suas órbitas, de

modo que a distância entre eles será $9 \cdot R + R = 10 \cdot R$. Portanto, o intervalo de valores possíveis para a distância d entre os dois satélites é de $8R \leq d \leq 10R$.

4. Alternativa **d**.

Correta: o raio da órbita do satélite R_s pode ser calculado por meio da terceira lei de Kepler em relação aos valores de período e raio da órbita da Lua:

$$\frac{T_s^2}{R_s^3} = \frac{T_{Lua}^2}{R_{Lua}^3} \Rightarrow R_s^3 = \frac{R_{Lua}^3 \cdot T_s^2}{T_{Lua}^2} \Rightarrow R_s^3 = \frac{(60 \cdot R)^3 \cdot 1^2}{27^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_s = \frac{60}{9} \cdot R \therefore R_s = 42.600 \text{ km}$$

A altura do satélite, então, será igual à diferença entre o seu raio orbital e o raio da Terra:

$h = R_s - R \Rightarrow h = 42.600 - 6.390 \therefore h = 36.210$ km

e. Incorreta: o módulo da velocidade de translação de um satélite geoestacionário ao longo da órbita pode ser calculado pela velocidade em uma órbita circular:

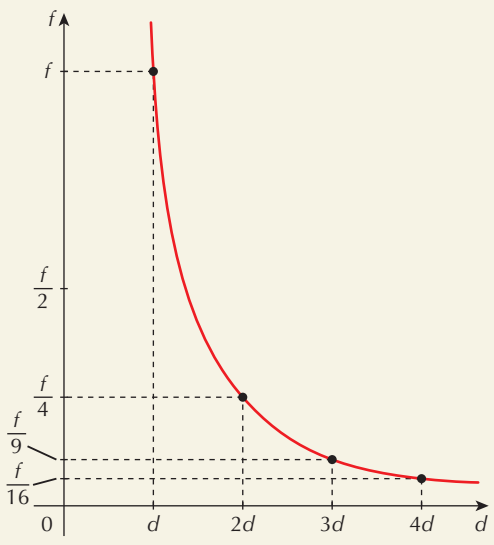
$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \Rightarrow v = \frac{2 \cdot \pi \cdot 42.600}{24} \therefore v \simeq 11.147 \text{ km/h}$$

5. a. De acordo com a lei de Newton da atração das massas, a intensidade da força de atração gravitacional é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, conforme a expressão $F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$.

Como G, M e m são constantes:

Distância	d	$2d$	$3d$	$4d$
Intensidade da força de atração gravitacional	f	$\frac{f}{4}$	$\frac{f}{9}$	$\frac{f}{16}$

b.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

6. a. Pela terceira lei de Kepler, temos:

$$\frac{T_{Tétis}^2}{R_{Tétis}^3} = \frac{T_{Titã}^2}{R_{Titã}^3} \Rightarrow T_{Tétis}^2 = \frac{R_{Tétis}^3 \cdot T_{Titã}^2}{R_{Titã}^3} \Rightarrow T_{Tétis}^2 = \frac{295.000^3 \cdot 16^2}{1.200.000^3}$$

$\therefore T_{Tétis} \simeq 2$ dias

b. As velocidades tangenciais podem ser obtidas pelas velocidades em órbitas circulares:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \Rightarrow \frac{v_{Tétis}}{v_{Titã}} = \frac{\frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Tétis}}{T_{Tétis}}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot R_{Titã}}{T_{Titã}}} \Rightarrow \frac{v_{Tétis}}{v_{Titã}} = \frac{R_{Tétis} \cdot T_{Titã}}{T_{Tétis} \cdot R_{Titã}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v_{Tétis}}{v_{Titã}} \simeq \frac{295.000 \cdot 16}{1.200.000 \cdot 2} \therefore \frac{v_{Tétis}}{v_{Titã}} \simeq 2$$

7. a. Sabendo que a força gravitacional é a força centrípeta responsável pela órbita circular, temos:

$$F_G = F_{cp} \Rightarrow \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2} = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$$

Comparando os dados de Vênus com os da Terra, temos:

$$\frac{v_{Vênus}}{v_{Terra}} = \frac{\sqrt{\frac{G \cdot M}{R_{Vênus}}}}{\sqrt{\frac{G \cdot M}{R_{Terra}}}} \Rightarrow \frac{v_{Vênus}}{v_{Terra}} = \sqrt{\frac{R_{Terra}}{R_{Vênus}}} \Rightarrow \frac{v_{Vênus}}{30} = \sqrt{\frac{1}{0,724}}$$

$\therefore v_{Vênus} \simeq 35,2$ km/s

b. O trânsito de Vênus durou 6 horas e 40 minutos, equivalente a 24.000 segundos. Assim, podemos calcular o comprimento de arco percorrido por Vênus durante o trânsito a partir de sua velocidade tangencial:

$$v_{Vênus} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta s = v_{Vênus} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s = 35,2 \cdot 24.000$$

$\therefore \Delta s = 844.800$ km

8. a. A intensidade da aceleração da gravidade pode ser obtida por meio da expressão $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$.

Podemos, então, obter o valor da aceleração da gravidade em Marte em relação ao valor da aceleração da gravidade na Terra:

$$\frac{g_{Marte}}{g_{Terra}} = \frac{\frac{G \cdot M_{Marte}}{R_{Marte}^2}}{\frac{G \cdot M_{Terra}}{R_{Terra}^2}} \Rightarrow \frac{g_{Marte}}{g_{Terra}} = \frac{M_{Marte} \cdot R_{Terra}^2}{M_{Terra} \cdot R_{Marte}^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{g_{Marte}}{10} = \frac{M_{Marte} \cdot (2 \cdot R_{Marte})^2}{(10 \cdot M_{Marte}) \cdot R_{Marte}^2} \therefore g_{Marte} = 4 \text{ m/s}^2$$

b. A altura máxima atingida por um objeto em um lançamento vertical pode ser obtida por meio da conservação de energia mecânica, considerando as energias potencial e cinética. Supondo que o lançamento se iniciou a uma altura igual a zero com velocidade v_0, temos que a altura máxima h é obtida quando a velocidade se torna nula:

$$\cancel{m} \cdot g \cdot h = \frac{\cancel{m} \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$$

Podemos então comparar os resultados esperados para o lançamento em Marte e na Terra:

$$\frac{h_{Marte}}{h_{Terra}} = \frac{\frac{v_0^2}{2 \cdot g_{Marte}}}{\frac{v_0^2}{2 \cdot g_{Terra}}} \Rightarrow \frac{h_{Marte}}{h_{Terra}} = \frac{g_{Terra}}{g_{Marte}} \Rightarrow h_{Marte} = \frac{h_{Terra} \cdot g_{Terra}}{g_{Marte}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{Marte} = \frac{2 \cdot 10}{4} \therefore h_{Marte} = 5 \text{ m}$$

9. Para obtermos a intensidade da velocidade orbital da EEI, podemos igualar a força gravitacional à força centrípeta, de modo que:

$$F_{cp} = F_G \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{R_{orb.}} = G \cdot \frac{M \cdot m}{R_{orb.}^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_{orb.}}}$$

Sabendo que o raio orbital $R_{orb.}$ é a distância entre o centro da Terra e a EEI, temos:

$R_{orb.} = R_T + h \Rightarrow R_{orb.} = 6,4 \cdot 10^6 + 0,4 \cdot 10^6 \therefore R_{orb.} = 6,8 \cdot 10^6$ m

Então podemos substituir os valores com os dados do enunciado:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_{orb.}}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{24}}{6{,}8 \cdot 10^{6}}} \therefore v \simeq 7{,}7 \cdot 10^{3}\ \text{m/s}$$

Ou, então, $v \simeq 7{,}7 \cdot 10^{3} \cdot 3{,}6 \simeq 27.720$ km/h.

A intensidade da velocidade orbital da EEI é mais de duas vezes a intensidade da velocidade orbital de um satélite geoestacionário.

Capítulo 10 Equilíbrio e máquinas simples

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar e interpretar questões usando o conceito de equilíbrio para elaborar conclusões a respeito de situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.
- Avaliar riscos em atividades cotidianas por meio da aplicação do conceito de equilíbrio para justificar o uso de equipamentos, recursos e comportamentos de segurança.
- Identificar e descrever o funcionamento de diferentes tipos de máquinas simples, suas funções em facilitar o trabalho e compreender a vantagem mecânica proporcionada por elas em sistemas físicos.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 4; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT204; EM13CNT301; EM13CNT306
- **Habilidade de Matemática e suas Tecnologias:** EM13MAT308 (Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.)
- **Habilidade de Linguagens e suas Tecnologias:** EM13LGG501 (Selecionar e utilizar movimentos corporais de forma consciente e intencional para interagir socialmente em práticas corporais, de modo a estabelecer relações construtivas, empáticas, éticas e de respeito às diferenças.)

Sugestões didáticas

O início da abordagem do tema pode ser feito por meio das práticas demonstrativas-investigativas propostas na seção **Atividade complementar**, que visam facilitar aos estudantes a visualização dos fenômenos que estão sendo estudados.

O movimento de investigação científica é importante para desenvolver a habilidade **EM13CNT301**, ao propor a análise de questões e a possibilidade de interpretação usando o conceito de equilíbrio para elaborar conclusões a respeito de situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica, e também da **competência geral 2**, pois possibilita exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. O movimento de escuta e diálogo é importante para o desenvolvimento das **competências gerais 4** e **9**. Ao propor análises e explicações para as atividades, serão trabalhadas as habilidades **EM13CNT204** e **EM13CNT301**.

Em seguida, proponha a eles que diferenciem um corpo extenso de um ponto material. Neste caso, tratando de um corpo extenso, como a régua usada na prática da **Atividade complementar** apresentada a seguir, mesmo que a resultante das forças seja nula, pode haver movimento rotacional; e, já no ponto material, por causa de suas dimensões desprezíveis, não ocorre movimento rotacional. Para melhor abordagem do conceito, cite exemplos do cotidiano, como abrir uma porta, em que a maçaneta está o mais distante possível do eixo de rotação da porta; ou, ainda, o ato de trocar o pneu de um carro com o auxílio de uma ferramenta que permite esticar o braço da força, fazendo com que seja aplicada uma força o mais distante possível do eixo, resultando em um torque cada vez maior e diminuindo o esforço físico. Com as atividades desenvolvidas até aqui, serão trabalhadas as habilidades **EM13CNT204** e **EM13CNT306**, pois elas promovem a explicação, com base no conceito de equilíbrio e interações gravitacionais, do movimento de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo, além de possibilitarem a avaliação de riscos em atividades cotidianas por meio da aplicação do conceito de equilíbrio para justificar o uso de equipamentos, recursos e comportamentos de segurança.

Solicite aos estudantes que leiam os tópicos "Momento de uma força" e "Vantagem mecânica". Após a leitura, converse sobre os sinais atribuídos ao sentido de rotação de um objeto – por mera convenção, quando o movimento se der no sentido anti-horário, o torque será positivo, e quando o movimento se der no sentido horário, o torque será negativo. Peça-lhes que retomem, do livro, a relação trigonométrica para calcular o torque de uma força inclinada em relação ao eixo fixo: lembrando que neste caso a força deve ser decomposta, sendo que a componente perpendicular em relação ao eixo é a que de fato está aplicando o torque, enquanto a componente paralela não consegue modificar seu estado de movimento em relação ao eixo e, por isso, tem torque nulo. Ao retomar e aprofundar um pouco mais em trigonometria, a habilidade **EM13MAT308** é favorecida, pois os estudantes desenvolverão melhor a capacidade de resolver problemas que envolvem triângulos, inclusive em situações do dia a dia. Uma parceria com o professor do componente curricular Matemática é interessante para estabelecer relações com a Física.

O exercício proposto na seção **Atividade comentada** pode ser explorado para exercitar a resolução de problemas com base nos pilares do pensamento computacional.

Para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, você pode abordar as máquinas simples presentes no corpo humano, de maneira interdisciplinar, fazendo um planejamento prévio com os professores de Biologia e Educação Física, utilizando-se do livro OKUNO, E.; FRATIN, L. **Desvendando a física do corpo humano**: Biomecânica. 2. ed. São Paulo: Manole Saúde, 2016. Dele, você pode sugerir a leitura completa ou parcial para os estudantes. Outra possibilidade de abordar o assunto, por meio de atividades práticas com o próprio corpo, está proposta no artigo de SANTIAGO, R. B.; ARENAS, T. Proposta para o ensino-aprendizagem do centro de gravidade a partir do equilíbrio do corpo humano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 956-979, 2018. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n3p956/38083. Acesso em: 2 nov. 2024. Neste caso, você pode estabelecer parceria com o professor de Educação Física para fazer um planejamento de atividades voltadas para posturas corporais. Esse trabalho favorece a habilidade **EM13LGG501**, pois os estudantes são convidados a utilizar práticas corporais estabelecendo relações com o tema discutido. Nessa perspectiva, incentive os estudantes a realizar certas posturas

corporais para posteriormente compará-las ao modelo e à teoria sobre equilíbrio estático e momento de uma força.

Ainda se desejar desenvolver aspectos da **competência geral 1** e discutir os conhecimentos historicamente acumulados sobre equilíbrio e alavancas, você poderá promover junto aos estudantes a leitura e a discussão de alguns capítulos do livro ASSIS, A. **Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca**. São Paulo: LF Editorial, 2011. Nos capítulos iniciais, o autor faz um apanhado sobre a vida e a obra de Arquimedes e apresenta a evolução de alguns conceitos, como o de centro de gravidade e alavancas. As discussões podem contribuir para a compreensão de como e por que se iniciaram os estudos do tema, além de favorecer a percepção de que a ciência é empreendimento humano.

Atividade complementar

Prática 1

1ª situação: Fixe uma régua de pelo menos 30 cm pelo seu centro. Em duplas, peça aos estudantes que empurrem a régua na mesma direção, mas em sentidos opostos. Em seguida, inverta os sentidos de aplicação das forças.

2ª situação: Faça uma gangorra com a régua e coloque uma borracha em cada lado, procurando a posição em que a régua fica equilibrada. Peça que anotem as posições das borrachas no momento de equilíbrio.

3ª situação: Ainda com a régua como gangorra, peça que tentem equilibrar duas borrachas de um lado e uma borracha de outro e anotem as posições de equilíbrio.

Na primeira situação, ao empurrar a régua em sentidos opostos, é importante discutir o equilíbrio ou movimento resultante conforme a soma das forças. Na segunda, com borrachas nas extremidades, os estudantes devem observar que a simetria das forças gera equilíbrio estável. Na terceira, com duas borrachas de um lado e uma do outro, explique por que ocorre desequilíbrio e como a distribuição de forças afeta o torque. Por fim, é essencial destacar o papel do eixo fixo como ponto de apoio, mostrando que sua posição influencia a estabilidade do sistema.

Prática 2

Coloque uma garrafa PET entre o batente e a porta, na região próxima das dobradiças da porta. Feche um pouco a porta, de maneira que a tampa da garrafa fique presa no espaço entre a porta e o batente. Segure a porta ou peça a um estudante que a segure para você. Segure a garrafa pelo meio dela e a gire.

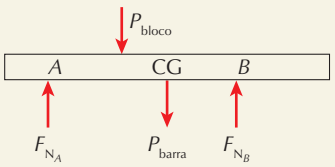
Enquanto realiza a demonstração, discuta com a turma se a técnica tornou a abertura da garrafa mais fácil ou difícil e qual seria a vantagem mecânica dessa situação.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Não, nessa situação não é possível o equilíbrio estático. Uma condição necessária para que um ponto material esteja em equilíbrio estático é que a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre ele deve ser igual a zero. Isso não é possível com apenas uma força não nula atuando sobre o ponto material.
2. Alternativa **d**. Na condição de equilíbrio estático, o ponto material está necessariamente em repouso.

   Para um ponto material em equilíbrio estático, a soma vetorial das forças aplicadas deve ser nula, ou seja, $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$.
3. As maçanetas são fixadas em um ponto oposto ao eixo de giro da porta porque a intensidade do momento de uma força é proporcional ao comprimento do braço da alavanca, facilitando sua rotação.
4. No esquema a seguir apresentamos todas as forças atuantes na barra, que são: força peso da barra (P_{barra}); força peso do bloco apoiado sobre a barra (P_{bloco}); forças de reação normal dos apoios A e B (F_{N_A} e F_{N_B}).



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

5. As forças que atuam no sistema são as tensões que suspendem o andaime em cada uma das pontas, cujas intensidades são 400 N cada uma, o peso do andaime e o peso da pessoa. As tensões e os pesos atuam na vertical, em sentidos opostos. No equilíbrio, temos:

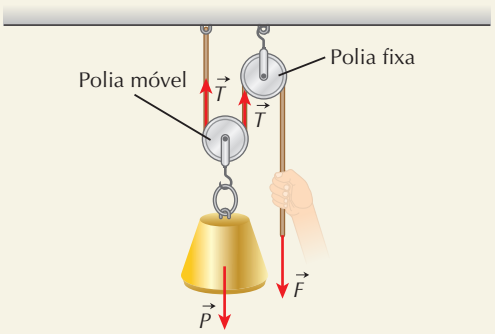
   $P_{andaime} + P_{pessoa} = T + T \Rightarrow P_{andaime} + m_{pessoa} \cdot g = 2T \Rightarrow$

   $\Rightarrow P_{andaime} = 2T - m_{pessoa} \cdot g$

   Adotando os valores apresentados no enunciado, tem-se que:

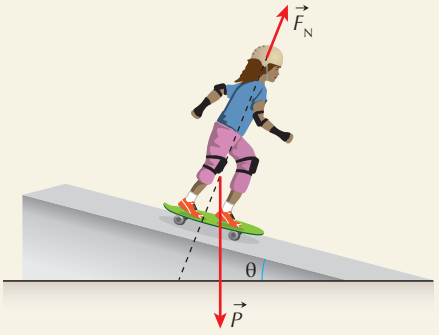
   $P_{andaime} = 2 \cdot 400 - 50 \cdot 10 \Rightarrow P_{andaime} = 800 - 500$

   $\therefore P_{andaime} = 300$ N
6. Em Mecânica, uma máquina simples é um dispositivo que facilita o trabalho, proporcionando uma vantagem mecânica para realizar tarefas com menor esforço. Os exemplos podem ser variados, desde os diferentes tipos de máquinas simples, como alavancas, polias e planos inclinados, até as suas aplicações no cotidiano.
7. **a.**



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUVO DA EDITORA

b.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUVO DA EDITORA

8. A força potente ($\vec{F}_{potente}$), que é aplicada para erguer a carga, e a força resistente ($\vec{F}_{resistente}$), que é a força peso da carga.

9. Alavanca interfixa: esse tipo de alavanca apresenta um ponto de apoio fixo entre a força resistente e a força potente. Exemplos: gangorra, tesoura, martelo, guindaste e freio de uma motocicleta.

Alavanca inter-resistente: esse tipo de alavanca apresenta força resistente entre o ponto de apoio e a força potente. Exemplos: carrinho de mão e abridor de garrafas.

Alavanca interpotente: esse tipo de alavanca apresenta força potente entre o ponto de apoio e a força resistente. Exemplos: pinça e vara de pesca.

10. O movimento de flexão e extensão do cotovelo para levantar um objeto, por exemplo, pode ser associado a uma alavanca interpotente. Nesse caso, o cotovelo representa o fulcro da alavanca, a força aplicada pelo bíceps, na parte frontal do braço, representa a força potente e o peso do objeto representa a força resistente.

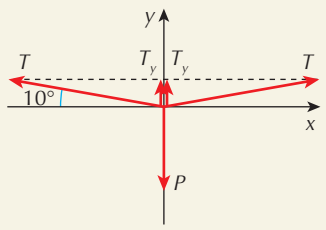
O movimento de apoiar a ponta dos pés ao caminhar pode ser associado a uma alavanca inter-resistente. Nesse caso, a ponta do pé representa o fulcro da alavanca, a força aplicada pelo músculo da panturrilha representa a força potente e o peso do corpo representa a força resistente.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**. No equilíbrio de translação, a soma vetorial de todas as forças atuantes deve ser nula. Tal fato acontece para o corpo em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme (MRU). No equilíbrio de rotação, o momento total ou resultante deve ser nulo em relação a qualquer eixo perpendicular ao plano das forças. Portanto, estão corretas apenas as afirmativas II e III.

2. Alternativa **d**. Na situação dada, tem-se o seguinte diagrama de forças.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Em que:

$T_x = T \cdot \cos 10°$

$T_y = T \cdot \operatorname{sen} 10°$

Considerando a situação de equilíbrio, ou seja, $F_R = 0$, então:

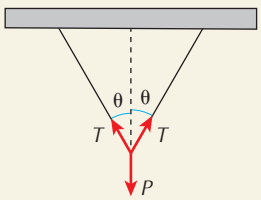
$P = 2 \cdot T_y \Rightarrow mg = 2 \cdot T \cdot \operatorname{sen} 10° \Rightarrow T = \dfrac{mg}{2 \cdot \operatorname{sen} 10°}$

Atribuindo os valores conhecidos:

$T = \dfrac{80 \cdot 10}{2 \cdot 0{,}17} \therefore T \simeq 2{,}4 \cdot 10^3 \text{ N}$

3. Alternativa **b**. Na situação descrita no enunciado, o diagrama de forças apresenta a seguinte configuração:

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



Para que o lustre esteja em equilíbrio, então:

$2T \cdot \cos\theta = P \Rightarrow T = \dfrac{P}{2 \cdot \cos\theta}$

Na situação da figura 1, tem-se que:

$T_1 = \dfrac{P}{2 \cdot \cos 30°}$

Na figura 2, temos:

$T_2 = \dfrac{P}{2 \cdot \cos 60°}$

Comparando os valores:

$\dfrac{T_2}{T_1} = \dfrac{\cos 30°}{\cos 60°} = \dfrac{0{,}87}{0{,}50} \Rightarrow \dfrac{T_2}{T_1} = 1{,}74 \therefore T_2 = 1{,}74 \cdot T_1$

4. O sistema está em equilíbrio de rotação. Assim, considerando o eixo da roda como eixo de rotação, temos:

$P \cdot 40 - F \cdot 100 = 0 \Rightarrow 200 \cdot 40 = F \cdot 100 \therefore F = 80 \text{ N}$

5. Alternativa **e**. De acordo com o enunciado, as forças nesta situação estão em equilíbrio, de forma que $F = 0$ e $M = 0$. Logo:

$P_{arroz} \cdot d_{arroz} - P_{barra} \cdot d_{barra} = 0 \Rightarrow P_{arroz} \cdot d_{arroz} = P_{barra} \cdot d_{barra} \Rightarrow$

$\Rightarrow m_{arroz} \cdot g \cdot d_{arroz} = m_{barra} \cdot g \cdot d_{barra} \Rightarrow m_{barra} = \dfrac{m_{arroz} \cdot d_{arroz}}{d_{barra}} \Rightarrow$

$\Rightarrow m_{barra} = \dfrac{5 \cdot 3}{1} \therefore m_{barra} = 15 \text{ kg}$

6. Alternativa **a**. No volante antigo, o braço é $d_1 = 20$ cm. Enquanto no volante novo, o braço é $d_2 = 18$ cm.

A condição do problema exige que as intensidades dos torques sejam iguais; assim, podemos igualar seus valores absolutos:

$M_1 = M_2 \Rightarrow F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \Rightarrow$

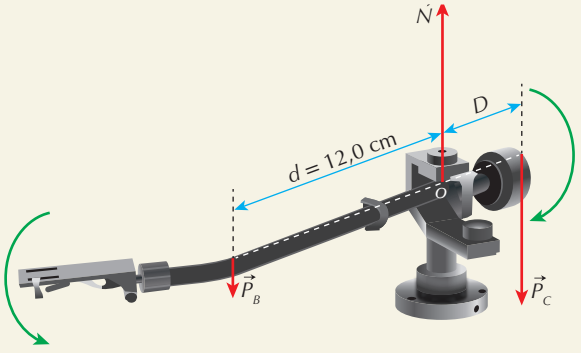
$\Rightarrow F_1 \cdot 20 = F_2 \cdot 18 \Rightarrow F_2 = \dfrac{20}{18} \cdot F_1 \therefore F_2 \simeq 1{,}11 F_1$

Concluímos, assim, que F_2 é aproximadamente 11% maior que F_1.

7. Alternativa **b**. Para o equilíbrio de rotação em relação ao polo *O*, basta igualarmos as intensidades dos momentos, assim:

$M_{horário} = M_{anti-horário} \Rightarrow P_C \cdot D = P_B \cdot d \Rightarrow$

$\Rightarrow 1{,}5 \cdot D = 0{,}3 \cdot 12 \Rightarrow 1{,}5 \cdot D = 3{,}6 \therefore D = 2{,}4 \text{ cm}$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

8. **a.** O funcionamento do monjolo se relaciona com o princípio da alavanca. O peso do volume de água em uma extremidade aumenta o torque, fazendo com que a extremidade oposta suba e desça repetidamente.

b. Com a introdução do monjolo, o processo de moagem foi automatizado, reduzindo a necessidade de esforço físico e liberando mais tempo para outras atividades.

c. A preservação das tecnologias sociais ajuda a manter as práticas tradicionais que são parte da história e do modo de vida de diversas comunidades. A valorização dessa herança cultural reforça o sentimento de pertencimento e a continuidade entre as gerações, promove o reconhecimento da sabedoria ancestral e mantém sua

relevância no mundo contemporâneo, reforçando práticas sustentáveis e de respeito ao meio ambiente.

9. a. Cada polia tem vantagem mecânica igual a 2, isto é, é capaz de multiplicar a intensidade da força por 2. No caso de *n* polias móveis ideais, tem-se $F = \frac{P_A}{2^n}$. Logo:

$8F = P_A \Rightarrow F = \frac{P_A}{8} \Rightarrow F = \frac{1.600}{8} \therefore F = 200\ \text{N}$

b. Considerando-se a intensidade da força peso de cada polia $P = 48$ N, tem-se:

- equilíbrio da polia móvel superior

  $P + T = 2F \Rightarrow T = 2F - P$

- equilíbrio da polia móvel intermediária

  $P + T' = 2T \Rightarrow T' = 2T - P \Rightarrow$

  $\Rightarrow T' = 2 \cdot (2F - P) - P \Rightarrow T' = 4F - 3P$

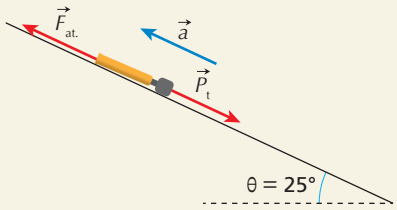
- equilíbrio da polia móvel inferior

  $P + P_A = 2T' \Rightarrow P + P_A = 2 \cdot (4F - 3P) \Rightarrow$

  $\Rightarrow P + P_A = 8F - 6P \Rightarrow F = \frac{7P + P_A}{8} \Rightarrow$

  $\Rightarrow F = \frac{7 \cdot 48 + 1.600}{8} \therefore F = 242\ \text{N}$

10. As forças que agem no martelo estão representadas a seguir.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

$P_t = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta = m \cdot 10{,}0 \cdot 0{,}40 = 4{,}0 \cdot m$

$F_{at.} = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta = 0{,}50 \cdot m \cdot 10{,}0 \cdot 0{,}90 = 4{,}5 \cdot m$

Como $F_{at.} > P_t$, a resultante das forças é dirigida para cima e o martelo terá o movimento retardado.

$F_{at.} - P_t = m \cdot a \Rightarrow 4{,}5 \cdot m - 4{,}0 \cdot m = m \cdot a \therefore a = 0{,}5\ \text{m/s}^2$

11. Já que o sistema está em equilíbrio de rotação, vamos adotar o ponto de apoio como eixo de rotação. O momento de $F_{resistente}$ ao redor desse eixo é positivo (tendência de giro horário), enquanto o momento de $F_{potente}$ e o momento de P são negativos (tendência de giro anti-horário). Como nessa situação a soma dos momentos é nula, temos:

$F_{resistente} \cdot b_{resistente} - F_{potente} \cdot b_{potente} - P \cdot d = 0$

Da figura, temos:

$b_{potente} = 2$ m e $b_{resistente} = 1$ m

De acordo com a figura, é possível calcular a distância d como:

$d = 2\ \text{m} - 1{,}5\ \text{m} \therefore d = 0{,}5\ \text{m}$

Logo:

$300\ \text{N} \cdot 1\ \text{m} - F_{potente} \cdot 2\ \text{m} - 50\ \text{N} \cdot 0{,}5\ \text{m} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{potente} \cdot 2\ \text{m} = 275\ \text{N} \cdot \text{m} \therefore F_{potente} = 137{,}5\ \text{N}$

Como o sistema está em equilíbrio de rotação, temos:

$F_N = F_{resistente} + F_{potente} + P \Rightarrow F_N = 300\ \text{N} + 137{,}5\ \text{N} + 50\ \text{N}$

$\therefore F_N = 487{,}5\ \text{N}$

12. Resposta pessoal. Uma possível resposta é citarem que a Física se conecta à preparação física ao aplicar conceitos de equilíbrio, força e alavancas, otimizando movimentos, prevenindo lesões e melhorando a eficiência dos treinos, resultando em melhor desempenho e segurança para os atletas.

Capítulo 11 Estática dos fluidos

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Reconhecer que pressão atmosférica é a pressão exercida pela atmosfera sobre a superfície da Terra e saber medi-la.
- Compreender o conceito de pressão hidrostática e suas várias aplicações em situações do dia a dia, como no sistema de distribuição de água.
- Compreender o conceito de empuxo para explicar por que alguns objetos flutuam em fluidos, como a água.
- Compreender que a densidade é propriedade dos materiais definida por uma grandeza escalar que pode ser considerada a medida da quantidade de matéria que ocupa determinado espaço.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 5; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301; EM13CNT307

Sugestões didáticas

Para iniciar o capítulo 11, sugerimos uma introdução sobre os conceitos de massa específica e densidade, que pode ser abordada de acordo com a referência suplementar OLIVEIRA, T. I. *et al.* Metodologia e recursos para a avaliação da construção do conhecimento sobre o conceito de densidade e massa específica. **Research, Society and Development**, v. 5, n. 1, p. 77-88, 2017.

As atividades propostas nas seções **Aplique e registre** e **Atividades de fechamento** são propícias para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT307**, pois definem densidade como uma propriedade material, e **EM13CNT301**, pois as discussões dos conceitos apresentados evidenciam que os teoremas foram baseados em dados experimentais. O uso de simuladores também incentiva os estudantes a desenvolverem a **competência geral 5**.

É importante comentar com os estudantes aplicações de vasos comunicantes e do princípio de Pascal que podem ser observados no cotidiano, como elevadores hidráulicos e sistemas de reservatórios e distribuição de água.

Para trabalhar o conceito de empuxo, pergunte aos estudantes por que uma pedra de gelo flutua no copo com água, e se o tamanho da pedra de gelo influencia sua flutuabilidade. A reflexão em dupla contribui para o desenvolvimento da **competência geral 9**, uma vez que os estudantes podem exercitar o diálogo e a escuta com empatia. Em uma discussão com todos os estudantes, conecte os conhecimentos adquiridos no capítulo com a questão proposta, reforçando que o módulo da força de empuxo não depende da massa do objeto que flutua.

Para finalizar, sugerimos a leitura em sala de aula da lenda de Arquimedes, da referência suplementar BATALHA, E.; BENTO, S. **Arquimedes e a coroa**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2 dez. 2021. Disponível em: https://www.invivo.fiocruz.br/historia/arquimedes-e-a-coroa/. Acesso em: 29 out. 2024. O texto mostra que o princípio que tem seu nome foi baseado em experimentos, incentivando o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Atividade complementar
O experimento do ovo cozido

Após a leitura do tópico "Pressão atmosférica", proponha um experimento em sala de aula usando um ovo cozido, um recipiente de vidro cuja abertura é levemente menor do que o diâmetro do ovo, um papel e um fósforo. Inicialmente, mostre que o ovo cozido não passa pela abertura do recipiente. Depois, retire o ovo da abertura, acenda o fósforo no papel e coloque o papel em chamas dentro do recipiente com a ajuda de um pegador longo. Tome cuidado com possíveis queimaduras e use utensílios para manipular o papel em chamas. Quando a combustão do papel acabar, coloque o ovo novamente na abertura do recipiente. O ovo deve cair dentro do frasco.

Solicite aos estudantes que apresentem uma explicação para a queda do ovo dentro da garrafa no segundo momento. Peça que registrem suas respostas e depois as comparem com as de um colega.

Conduza uma roda de conversa para que os estudantes compartilhem as suas conclusões. A explicação é que o ar atmosférico que estava dentro da garrafa foi aquecido pela chama do papel em combustão, expandiu-se e parte dele saiu da garrafa. Colocando-se o ovo na boca da garrafa assim que o papel termina de queimar, a pressão do ar interno à garrafa fica menor do que a pressão atmosférica.

Com a diferença de pressão, surge uma força vertical com sentido da região de maior pressão para a região de menor pressão, ou seja, o ovo será empurrado para dentro da garrafa. Para auxiliar na discussão, sugerimos a referência suplementar LONGHINI, M. D.; NARDI, R. Como age a pressão atmosférica? Algumas situações-problema tendo como base a História da Ciência e pesquisas na área. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 7-23, abr. 2009. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2009v26n1p7/10017. Acesso em: 2 nov. 2024. O artigo indica que algumas respostas poderão estar mais focadas nos efeitos da combustão do papel, como a dilatação da garrafa ou a fumaça, do que no ar atmosférico. Certifique-se de que os estudantes reconhecem que a pressão atmosférica é resultante da pressão exercida pela coluna de ar atmosférico acima do ovo. Essa atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Caso não seja possível conduzir o experimento em sala de aula, proponha a análise da situação-problema de forma descritiva.

Resoluções e comentários
Aplique e registre

1. O objeto ascenderá até a superfície e flutuar se a sua densidade for menor que a densidade do líquido. Se a densidade do objeto for maior que a do fluido, ele afundará. Quando a densidade do objeto for igual à densidade do líquido, ele fica suspenso no meio desse fluido, sem afundar nem se deslocar rumo à superfície.

2. O alto índice de salinidade do Mar Morto torna sua densidade mais alta do que a de lagos com menor salinidade. Por isso, o corpo humano, que possui densidade média menor do que a de lagos com menor salinidade, flutua com maior facilidade no Mar Morto.

3. As patas largas do urso-polar têm uma grande área de superfície em contato com o solo. Isso distribui o peso do animal por uma área maior, diminuindo a pressão exercida sobre a neve ou o gelo em que ele caminha. Essa redução de pressão evita que os ursos-polares afundem na neve ou no gelo fino que recobre as águas, permitindo que eles se movam de maneira mais ágil e segura.

4. A pressão atmosférica corresponde à pressão causada pela coluna de ar da atmosfera na superfície terrestre. Ela é tipicamente medida em atm ou psi.

5. Com um barômetro de Torricelli usando água, líquido muito menos denso que o mercúrio, haveria a necessidade de um tubo de pelo menos 10 m de comprimento. Vale lembrar que uma coluna de aproximadamente 10 m de água nos fornece 1 atm de pressão em sua base. Ao se utilizar mercúrio, um tubo com aproximadamente 76 cm já é suficiente para produzir 1 atm de pressão em sua base. Assim, com o uso do mercúrio, tem-se um barômetro mais compacto.

6. Considerando que a água da piscina, banheira e rio tem a mesma densidade, os valores de pressão para o mergulhador a 0,5 m de profundidade serão iguais, já que a pressão depende apenas da altura, aceleração da gravidade e profundidade.

7. a. A pressão hidrostática é devida exclusivamente à coluna de água acima do mergulhador. Assim:

$p = d \cdot g \cdot h \Rightarrow p = 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 20 \therefore p = 2{,}0 \cdot 10^5$ Pa

b. A pressão total ou absoluta que o mergulhador registra será dada pela soma da pressão hidrostática, calculada no item anterior, com a pressão atmosférica.

$p_{total} = p_{atmosférica} + p_{hidrostática} = 1{,}0 \cdot 10^5 + 2{,}0 \cdot 10^5$

$\therefore p_{total} = 3{,}0 \cdot 10^5$ Pa

8. Os pontos A e B estão nivelados (mesma horizontal) e pertencem ao mesmo fluido em equilíbrio. Logo, estão submetidos à mesma pressão total:

$p_A = p_B \Rightarrow p_{gás} = p_{atmosférica} + p_{coluna\ Hg} \Rightarrow p_{gás} = 70 + 20$

$\therefore p_{gás} = 90$ cm Hg

9. Alternativa **b**. Pontos de um mesmo líquido em equilíbrio que estejam em um mesmo nível ficam submetidos à mesma pressão, assim:

$p_A = p_B \Rightarrow p_{atmosférica} + d_{água} \cdot g \cdot h_{água} = p_{atmosférica} + d_x \cdot g \cdot h_x \Rightarrow$

$\Rightarrow d_{água} \cdot h_{água} = d_x \cdot h_x \Rightarrow 1{,}0 \cdot 6{,}0 = d_x \cdot 9{,}0 \Rightarrow d_x = \frac{6{,}0}{9{,}0}$

$\therefore d_x \simeq 0{,}67$ g/cm³

10. a. Com os dados fornecidos, podemos determinar a pressão exercida no êmbolo menor:

$p = \frac{F}{A} \Rightarrow p = \frac{20}{4} \therefore p = 5$ N/cm²

Essa pressão transmite-se integralmente para o êmbolo maior, de acordo com o princípio de Pascal.

b. Para o êmbolo maior, temos:

$p = \frac{F}{A} \Rightarrow 5 = \frac{F}{200} \therefore F = 1.000$ N

c. Podemos relacionar os valores de x e y pela conservação do volume deslocado, assim:

$x \cdot A_1 = y \cdot A_2 \Rightarrow 60 \cdot 4 = y \cdot 200 \Rightarrow y = \frac{240}{200} \therefore y = 1{,}2$ cm

11. De acordo com o princípio de Pascal, podemos escrever:

$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

Para uma força F_1 mínima, a força F_2 deve equilibrar o peso do carro, assim:

$F_2 = P = m \cdot g \Rightarrow F_2 = 2{,}4 \cdot 10^3 \cdot 10$

$\therefore F_2 = 2{,}4 \cdot 10^4$ N

Portanto,

$F_1 = \frac{A_1 \cdot F_2}{A_2} \Rightarrow F_1 = \frac{1}{100} \cdot 2{,}4 \cdot 10^4 \therefore F_1 = 240$ N

12. A pressão de um líquido exercida sobre um cubo submerso aumenta com a profundidade. Como a pressão é diretamente proporcional à força aplicada, isso significa que a intensidade da força aplicada no cubo também é maior quanto maior é sua profundidade. Portanto, a parte inferior do cubo, que está a uma profundidade maior, deve sofrer uma força de intensidade maior do que a parte superior. O diagrama que representa corretamente a situação descrita é o III.

13. Sim, o empuxo surge quando um corpo é submerso (parcial ou totalmente) em um líquido, portanto existe uma força de empuxo atuando no cubo.

Em foco

1. Os efeitos fisiológicos do mergulho devido à pressão absoluta incluem a compressão dos espaços aéreos do corpo, como ouvidos, seios da face e cavidades nasais, que necessitam de manobras de equalização para evitar desconforto. Além disso, a pressão total afeta a circulação sanguínea, uma vez que o aumento da pressão pode gerar maior carga sobre o coração e causar sintomas como vertigem e dificuldades respiratórias.

2. A narcose por nitrogênio, também conhecida como "embriaguez das profundezas", ocorre devido ao aumento da pressão durante mergulhos em grandes profundidades, o que favorece a dissolução do nitrogênio no sangue. O nitrogênio dissolvido no sangue pode afetar o sistema nervoso central, causando sensação de euforia, distorção de tempo e julgamento, perda de consciência e, em casos extremos, pode levar à morte.

3. Conforme os mergulhadores se aprofundam, a temperatura da água diminui drasticamente, o que pode levar à hipotermia. A hipotermia é caracterizada por uma temperatura corporal abaixo da normal e pode causar tremores, confusão mental, fadiga e até mesmo a perda da consciência. Os mergulhadores podem utilizar roupas especiais de neoprene com isolamento térmico, para minimizar a perda de calor do corpo para a água fria.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **e**. A densidade pode ser calculada em função da massa, dada como 27,8 g, e pelo volume, que pode ser obtido pela diferença entre os volumes da proveta com água e da proveta com água e a amostra:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow d = \frac{m}{V_A - V_B} \Rightarrow d = \frac{27{,}8}{45 - 35} \therefore d = 2{,}78 \text{ g/mL}$$

2. A pressão p exercida pela bailarina no solo é dada pela razão entre a força e a área. Fazendo a transformação da unidade de área de cm^2 para m^2, temos:

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow p = \frac{P}{A} \Rightarrow p = \frac{m \cdot g}{A} \Rightarrow p = \frac{50 \cdot 10}{4 \cdot 10^{-4}} \therefore p = 1{,}25 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

3. **a.** Quando os bombeiros estão deitados rastejando, a área de contato com o chão aumenta e, por isso, a pressão diminui, evitando que eles afundem na lama.

b. Para o cálculo da pressão, temos: $p = \frac{F}{A}$

Estimando a massa do bombeiro em 75 kg e a aceleração da gravidade $g = 10$ m/s², temos:

$F = m \cdot g \Rightarrow F = 75 \cdot 10 \therefore F = 750$ N

A área de contato do corpo do bombeiro com o solo pode ser estimada em 1,5 m^2, assim:

$p = \frac{750}{1{,}5} \therefore p = 500 \text{ N/m}^2 = 500 \text{ Pa}$

4. As pessoas sentem suas orelhas "tamparem" devido à variação rápida da pressão atmosférica, que causa uma mudança na pressão interna do ouvido que percebemos como um "entupimento".

5. Alternativa **b**. A pressão total exercida sobre o submarino é a soma da pressão atmosférica e da pressão da água:

$p_{total} = p_{atmosférica} + p_{água}$

Sendo a pressão da água dada pela densidade, aceleração da gravidade e profundidade (devidamente convertida de km para m):

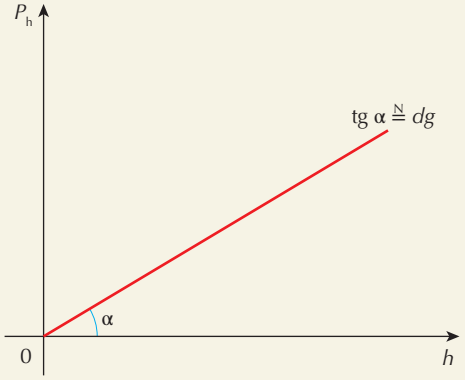
$p_{água} = d \cdot g \cdot h \Rightarrow p = 1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 3{,}8 \cdot 10^3 \therefore p = 3{,}8 \cdot 10^7$ Pa

Transformando a unidade de pressão de Pa para atm:

$p = \frac{3{,}8 \cdot 10^7}{1 \cdot 10^5} \therefore p = 380$ atm

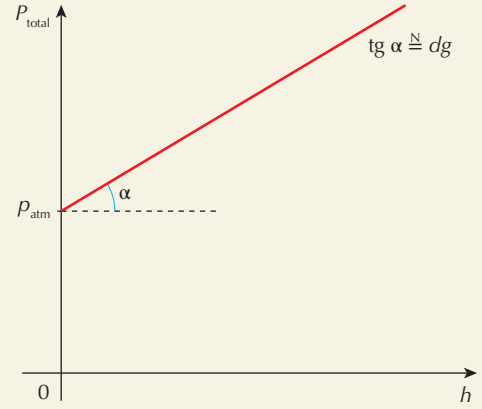
6. **a.** A pressão hidrostática aumenta linearmente com a profundidade no líquido.

b.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

c.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

7. Alternativa **e**. Pelo princípio de Pascal, a relação entre as forças aplicadas no pistão superior (F_1) e no pistão inferior (F_2) é:

$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

Sendo D o diâmetro do pistão superior, as áreas do pistão superior (A_1) e do pistão inferior (A_2) são:

$A_1 = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$

$A_2 = \pi \cdot \left(\frac{2 \cdot D}{2}\right)^2 = \pi \cdot D^2$

Portanto:

$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{4{,}0}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{F_2}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow F_2 = 4{,}0 \cdot 4 \therefore F_2 = 16{,}0$ N

8. Alternativa **b**. No caso em que o cubo está mergulhado até a metade no lago, a força resultante medida pelo dinamômetro é de 24 N; então, podemos relacionar as forças peso e empuxo:

$\vec{F}_R = \vec{P} - \vec{E} \Rightarrow 24 = 30 - E \therefore E = 6$ N

Para calcular o empuxo, temos de calcular primeiro o volume submerso do cubo a partir de seu volume total:

$V_{cubo} = 0{,}1^3 \therefore V_{cubo} = 10^{-3}\ m^3$

$V_{submerso} = \frac{V_{cubo}}{2} \therefore V_{submerso} = 5 \cdot 10^{-4}\ m^3$

Então, podemos usar a seguinte expressão:

$E = d_{líquido} \cdot V_{submerso} \cdot g \Rightarrow 6 = d_{líquido} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \Rightarrow$

$\Rightarrow d_{líquido} = \frac{6}{5 \cdot 10^{-3}} \therefore d_{líquido} = 1.200\ kg/m^3$

Por fim, precisamos converter a densidade encontrada em kg/m^3 para g/cm^3:

$d_{líquido} = 1.200 \cdot \frac{10^3}{10^6} \therefore d_{líquido} = 1{,}2\ g/cm^3$

9. **a.** O peso aparente fornecido no enunciado é exatamente a diferença entre o peso real e o empuxo, assim:

$P_{aparente} = P_{real} - E \Rightarrow 60 = 100 - E \therefore E = 40\ N$

b. Podemos determinar a densidade do objeto em função da força de empuxo, lembrando de converter a densidade da água de g/cm^3 para kg/m^3:

$E = d_{líquido} \cdot V_{submerso} \cdot g \Rightarrow 40 = 1.000 \cdot V_{submerso} \cdot 10$

$\therefore V_{submerso} = 4 \cdot 10^{-3}\ m^3$

Sabendo que a massa pode ser obtida do peso, podemos calcular a densidade:

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow \frac{10}{4 \cdot 10^{-3}} \therefore d = 2{,}5\ g/cm^3$

10. Alternativa **b**. Quando imerso, o empuxo do *face shield* será de:

$E = d_{álcool} \cdot V_{imerso} \cdot g = d_{álcool} \cdot V_{face\ shield} \cdot g$

As forças atuantes na máscara são a força peso e o empuxo, e sua aceleração será dada pela força resultante:

$\vec{F_R} = \vec{P} - \vec{E} \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g - d_{álcool} \cdot V_{face\ shield} \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow a = g - \frac{d_{álcool} \cdot V_{face\ shield} \cdot g}{m} \Rightarrow a = g - \frac{d_{álcool} \cdot g}{d_{face\ shield}}$

Veja que, apesar de não sabermos a massa da máscara, nós precisamos apenas de sua densidade, que é dada no enunciado. Além disso, como temos uma razão de densidades, não precisamos nos preocupar com a unidade em que elas estão, desde que elas estejam na mesma unidade.

$a = 10 - \frac{0{,}9 \cdot 10}{1{,}2} \therefore a = 2{,}5\ m/s^2$

Capítulo 12 Transmissão de calor e mudanças de estado físico

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Compreender o conceito de calor como energia térmica em trânsito entre dois ou mais corpos.
- Diferenciar e caracterizar os diferentes processos de transmissão de calor existentes na natureza (condução, irradiação e convecção), diferentes e principais situações nas quais estão envolvidos.
- Identificar as diferenças entre materiais diversos com relação à capacidade de condução de calor.
- Prever o comportamento de sistemas térmicos envolvendo troca de calor entre dois ou mais corpos e fluidos.
- Identificar, compreender e prever processos de transição de estados e o papel de trocas de calor neles.
- Reconhecer a presença de trocas de calor nos processos tecnológicos e naturais ao nosso redor, em especial no planeta Terra, e sua íntima relação com o desenvolvimento e a manutenção da vida.
- Avaliar o impacto das ações humanas nos processos de troca de calor presentes no planeta Terra e o efeito dessas transformações sobre a natureza e a vida humana.
- Propor medidas que otimizem a produção de energia e as trocas de calor envolvidas nas ações humanas, buscando minimizar o impacto destas sobre o meio ambiente.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101; EM13CNT102; EM13CNT105; EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT307; EM13CNT309

Sugestões didáticas

Os temas tratados no capítulo 12 envolvem conceitos com os quais os estudantes têm alguma familiaridade, e que estão presentes em muitas situações das quais participam no dia a dia, envolvidas no funcionamento de diferentes dispositivos e em muitos processos naturais, incluindo aqueles relacionados às dinâmicas, ambientes e ecossistemas do planeta Terra. O tema do efeito estufa e do aquecimento global, bastante atual e central na formação para o mundo contemporâneo, deve ser destacado não só como um exemplo de transmissão de calor por irradiação, que permite, também, abordar as diferentes formas de radiação eletromagnética e sua interação com a matéria, mas também como um tema de interesse em si. Ele permite desenvolver os **TCTs Educação Ambiental** e **Educação para o Consumo**, além das habilidades **EM13CNT301**, **EM13CNT302**, **EM13CNT307** e **EM13CNT309**, e deve ser trabalhado de forma inter e transdisciplinar, se possível em conjunto com os professores de Biologia, Geografia e, mesmo, Sociologia, caso desejem aprofundá-lo.

Inicie a abordagem dos conteúdos com base nos conceitos de temperatura e calor, apontando a articulação entre eles e apoiando-se nas concepções que os estudantes já têm sobre eles. Para isso, questione-os sobre o processo que observam no seu dia a dia, como o aquecimento de água em uma chaleira no fogão e o aquecimento de corpos próximos a uma fogueira, entre outros. Fique atento a eventuais concepções alternativas, como a de que o calor é uma substância ou fluido, que ele se movimenta apenas para cima ou que é o mesmo que temperatura. Sugerimos a referência suplementar LOUZADA, A. N.; ELIA, M. da F.; SAMPAIO, F. F. Concepções alternativas dos estudantes sobre conceitos térmicos: um estudo de avaliação diagnóstica e formativa. **Revista Brasileira de Ensino de Fisica**, v. 37, n. 1, 1508, mar. 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZxvwvJgSGWmvfTXy7vKQ8BR/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 3 nov. 2024.

Debata essas concepções sem desprezá-las, tratando-as como hipóteses que devem ser avaliadas em face do que observamos na natureza. Com base na análise de situações concretas observadas em sala de aula ou no nosso dia a dia, leve os estudantes a questionar e avaliar essas teorias, chegando ao que sabemos hoje sobre o calor. Essa abordagem deve ser feita levando em conta não só o debate e a compreensão dos conceitos abordados (calor, temperatura, composição microscópica da matéria), mas também o desenvolvimento do espírito investigativo e a metodologia típica das ciências, trabalhando a habilidade **EM13CNT101** e a **competência geral 2**. Ela dialoga com elementos da educação científica proposta por CARVALHO, A.; OLIVEIRA, C.; SCARPA, D. **Ensino de ciências por investigação**:

condições para implementação em sala de aula. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

Ao longo de todo o capítulo, relacione sempre os conteúdos com experiências vividas pelos estudantes no dia a dia e observações que eles podem fazer, estimulando o pensamento investigativo, típico da ciência, e desenvolvendo, assim, a habilidade **EM13CNT101** e a **competência geral 2**. Para isso, explore, também, os exemplos apresentados no livro e, em especial, a atividade complementar proposta a seguir. A **Atividade comentada** desse capítulo deve ser explorada com esse objetivo. Para isso, questione os estudantes se eles conhecem o chimarrão, se já tomaram ou já viram alguém tomando. Abra espaço para que eles citem outras bebidas típicas, quente ou frias, e comparem-nas no que diz respeito às condições térmicas nas quais são consumidas, as trocas de calor envolvidas e como podemos potencializar ou evitar essas trocas, a depender do objetivo. As atividades e questões propostas pela referência suplementar GRUPO DE REELABORAÇÃO DE ENSINO DE FÍSICA (GREF). **Física 2**: ótica e física térmica. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1999 podem auxiliá-lo e dar suporte nessa abordagem. É interessante, ainda, citar que as trocas de calor estão presentes e são relevantes em diferentes dispositivos e processos produtivos, e como isso motiva a pesquisa por materiais cujas características potencializem ou minimizem essa troca, considerando as características dos diferentes modos de transmissão de calor e trabalhando, assim, o **TCT Ciência e Tecnologia** e a habilidade **EM13CNT102**. Também o **TCT Educação Ambiental** e o tema da sustentabilidade podem ser tratados, levando em conta o desenvolvimento de processos produtivos com menor impacto ambiental.

Organize um debate mostrando que a ciência é um conhecimento construído por homens e mulheres, de forma dinâmica e sempre transitória. Dessa maneira, é possível desenvolver a **competência geral 1** e o **TCT Ciência e Tecnologia**.

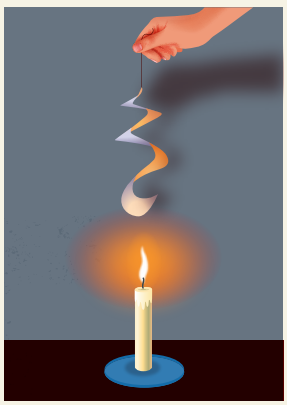
Atividade complementar

Correntes de convecção

A atividade possibilita visualizar os efeitos da formação de correntes de convecção local. Pode ser mais interessante fazê-la de forma demonstrativa, com a turma toda.

As correntes de convecção podem ser visualizadas com uma vela acesa e uma hélice cônica, que pode ser recortada em papel, como mostra a figura a seguir. É possível notar a movimentação da hélice devido às correntes de convecção que a chama da vela provoca no ar dos arredores. O ar quente, menos denso, sobe e, ao impactar a hélice cônica, provoca sua movimentação.

Esta atividade só deve ser reproduzida sob a supervisão do professor, pois é necessário cuidado ao recortar o papel e ao manusear a chama da vela.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

Representação da vela acesa e da hélice cônica de papel. (Imagem sem escala.)

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Resposta pessoal. Segundo a Física, não existe uma substância ou componente denominado "frio", mas apenas perda de calor, que, conforme a lei "zero" da Termodinâmica, ocorre, de forma espontânea, dos copos com maior para os com menor temperatura. Por isso, não é o frio que entra do ambiente externo (que está a menor temperatura) para o interno (à maior temperatura), mas, sim, a energia térmica do interior da casa que vai para o exterior, levando à redução da temperatura nessa região e dos corpos que lá estão.

2. **I.** Correta. Utiliza-se vidro na confecção da ampola por esse material ser mal condutor de calor e bom isolante térmico, o que minimiza a perda de calor de um líquido quente para o meio externo.

II. Correta. As paredes espelhadas refletem ondas de infravermelho, dificultando a troca de calor entre o interior e o exterior da ampola. Com isso, um líquido quente, como o café, por exemplo, é mantido em alta temperatura, uma vez que a perda de calor para o meio externo é minimizada, e um refresco gelado é mantido em baixa temperatura, uma vez que a entrada de calor do meio externo para o interior da ampola também é minimizada.

III. Incorreta. O vácuo tem por finalidade minimizar as trocas de calor por condução, já que esse processo de transmissão de energia térmica não ocorre na ausência de um meio material.

IV. Incorreta. Para minimizar trocas de calor por convecção, a garrafa térmica deve, dentro do possível, permanecer fechada, sobretudo se armazenar líquidos quentes.

3. Alternativa **d**. O ar e o náilon são péssimos condutores de calor, o que minimiza a condução de energia térmica do corpo da pessoa para o ambiente externo, geralmente em temperatura mais baixa.

4. Lembrando que as variações de temperatura ocorrerão devido à troca de calor entre o café e o leite, e considerando que todo o calor perdido pelo café será absorvido pelo leite, temos:

$Q_{café} + Q_{leite} = 0 \Rightarrow Q_{café} = -Q_{leite} \Rightarrow$

$\Rightarrow M \cdot c_{café} \cdot \Delta T_{café} = -m \cdot c_{leite} \cdot \Delta T_{leite}$

Considerando os valores dados para a densidade do leite e do café, temos:

$31 \cdot 1{,}0 \cdot (T_f - 80) = 10 \cdot 0{,}9 \cdot (T_f - 8) \Rightarrow$

$\Rightarrow 31T - 2.552 = 72 - 9 \cdot T \Rightarrow 40 \cdot T - 2.552 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow T = \frac{2.552}{40} \therefore T = 63{,}8\ °C$

5. O barro é poroso, permitindo que gotículas ou mesmo moléculas de água ultrapassem as paredes da moringa, deixando molhada sua superfície externa. Parte dessa água evapora, em um processo endotérmico de mudança de estado físico, consumindo energia térmica proveniente da água no interior da moringa, que, consequentemente, esfria.

6. Alternativa **b**. Para que uma substância seja líquida à temperatura de 25 °C, é necessário que ela tenha ponto de fusão menor e ponto de ebulição maior que esse valor. Portanto, os combustíveis líquidos a essa temperatura são o etanol, o metanol e o octano.

Em foco

1. Resposta pessoal. Chamamos efeito estufa a retenção das ondas de calor – infravermelho – pela atmosfera, devido à

concentração de gases como o CO_2, CH_4 e N_2O, entre outros. Ele é responsável pelo aumento da temperatura na superfície do planeta, e, no caso do efeito estufa natural, pela estabilização da temperatura, evitando grande variação dela entre o dia e a noite.

2. Resposta pessoal. Podem ser citados como exemplos o derretimento de geleiras, gelos polares e da neve em regiões montanhosas, chuvas excessivas no Sul do Brasil, secas no Pantanal e Amazonas, redução da intensidade de chuvas e consequente aumento da incidência de queimadas, ondas de calor extremas no Brasil, nos Estados Unidos e na Europa, entre outros. Todos eles estão ligados ao aquecimento global, que envolve o aumento da temperatura média no planeta.
3. Resposta pessoal. O uso de combustíveis fósseis e motores a combustão vem sendo progressivamente substituído pelo uso de outras fontes de energia, buscando minimizar seu impacto ambiental. Como exemplos podem ser citados motores elétricos, o uso de energia solar e eólica. Os dois primeiros casos são utilizados em carros, aviões e navios, como a aeronave Solar Impulse 2, que deu a volta ao mundo em 2016.
4. Resposta pessoal. Podem ser citados o uso de modais de transporte menos poluentes, como bicicleta, metrô, carros elétricos ou mesmo ônibus, a adoção da prática de caronas e a não incineração de produtos e materiais emissores de gases estufa.

Trabalho e juventudes

A leitura do texto e a realização das atividades podem ser feitas em grupos, promovendo a troca de experiências, opiniões e conhecimentos, e incentivando o trabalho colaborativo, essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável e a educação inclusiva e de qualidade. Estimule os estudantes a compartilhar dúvidas, vivências e impressões, incluindo questões de vocabulário, e crie um ambiente acolhedor para que se sintam à vontade para participar, fortalecendo uma postura ética e responsável.

Se achar conveniente, as atividades podem servir como ponto de partida para projetos de pesquisa mais amplos e interdisciplinares, envolvendo professores de Biologia, Geografia e Sociologia, conectando diferentes áreas do conhecimento. Esses projetos podem abordar temas centrais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como segurança alimentar e nutricional, agricultura sustentável, mudança climática e conservação de ecossistemas, além de explorar questões sociais como inclusão e promoção do trabalho decente.

1. Resposta pessoal. Estimule os estudantes a refletir sobre sua própria experiência, vivência e hábitos, avaliando os motivos que os levariam a deixar seu local de origem, seja no campo ou na cidade. Esse exercício contribui para a compreensão de questões ligadas à migração e à busca por oportunidades econômicas, educativas ou de melhoria da qualidade de vida. Se possível, proponha que realizem entrevistas com jovens nascidos no campo, tanto os que permanecem na região quanto os que migraram para áreas urbanas, investigando os fatores que influenciaram suas decisões. Além disso, incentive a discussão sobre medidas que poderiam ser adotadas para manter os jovens nas regiões rurais, como melhorias na educação, saúde e empregos, reforçando a importância da sucessão rural no desenvolvimento da agricultura sustentável e na preservação dos ecossistemas, conforme os **ODS 2** (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e **15** (Vida Terrestre).
2. Resposta pessoal. Entre as respostas dos estudantes, é esperado que mencionem aspectos como o estímulo à agricultura familiar, democratização do acesso à terra, maior disponibilidade de crédito para pequenos e médios produtores, facilitação do acesso à saúde, cultura e educação em todos os níveis, e a valorização dos salários no setor rural. Outras sugestões podem incluir o fortalecimento da infraestrutura e da conectividade digital nessas regiões, promovendo o desenvolvimento econômico sustentável e a criação de empregos. Se julgar apropriado, oriente os estudantes a desenvolver propostas de políticas públicas que poderiam ser implementadas na região onde vivem, considerando a necessidade de promover a segurança alimentar, o desenvolvimento rural sustentável e medidas que mitiguem os efeitos das mudanças climáticas, alinhado aos **ODS 8** (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e **13** (Ação Contra a Mudança Global do Clima).
3. Os impactos relacionados às mudanças climáticas estão, principalmente, ligados à variação nas temperaturas e no regime de chuvas, o que afeta diretamente a produção de alimentos e a qualidade de vida tanto no campo quanto nas cidades. Espera-se que os estudantes reflitam sobre consequências como a insegurança alimentar, redução dos postos de trabalho no meio rural, aumento da incidência de doenças e a escassez de água potável. Em termos de mitigação, os estudantes devem considerar medidas como a redução do uso de combustíveis fósseis, controle do desmatamento e das queimadas, transição para uma matriz energética limpa, proteção de biomas e promoção de sistemas agrícolas sustentáveis, como a agricultura familiar e a agroecologia, que preservam os recursos naturais. Essas ações estão diretamente conectadas aos **ODS 13** (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e **15** (Vida Terrestre).

Atividades de fechamento

1. **a.** Das brasas para as linguiças, o calor é transmitido principalmente por irradiação e correntes de convecção. Já ao longo e no interior da linguiça, a propagação do calor se dá por condução, provocando sua cocção.

   Os tijolos, em contato direto com as brasas, mesmo sendo constituídos de materiais isolantes térmicos (barro e ar), são aquecidos sobretudo por condução. Além disso, tanto os tijolos como os demais corpos ao redor serão aquecidos por absorção da radiação.

   b. Se os espetos fossem metálicos, Ramiro correria maior risco de queimar as mãos, pois os metais são melhores condutores térmicos que o bambu.
2. Alternativa **b**. A energia térmica será conduzida com maior rapidez ao longo da haste cujo material possui maior coeficiente de condutividade térmica, derretendo mais rapidamente a pelota de manteiga em sua extremidade. Com base na tabela, temos:

   $K_{Cobre} > K_{Alumínio} > K_{Latão} > K_{Níquel} > K_{Ferro} > K_{Aço}$

   Logo, as pelotas de manteiga derreterão mais rapidamente com o uso de espetos de cobre, alumínio, latão, níquel, ferro e aço, nessa ordem.
3. Alternativa **d**. O fluxo de calor por condução será o mesmo através dos metais 1 e 2, isto é, $\phi_1 = \phi_2$. Utilizando a lei de Fourrier, e considerando $e = L$, temos:

   $$80 \cdot \frac{A \cdot (160 - T)}{\frac{2 \cdot L}{3}} = 240 \cdot \frac{A \cdot (T - 20)}{\frac{L}{3}} \Rightarrow$$

$\Rightarrow 160 - T = 6 \cdot (T - 20) \Rightarrow 160 - T = 6 \cdot T - 120 \Rightarrow$

$\Rightarrow 280 = 7T \therefore T = 40\ ^\circ C$

4. a. Para que a temperatura interna se mantenha constante, a potência fornecida pelo aquecedor deve ser igual ao fluxo de calor entre o ambiente interno e o externo. Então, temos:

$Pot = \phi \Rightarrow Pot = K \cdot \frac{A \cdot (T_i - T_e)}{e}$

A área total do contêiner exposta à diferença de temperaturas é dada por:

$A = 2 \cdot (4{,}0 \cdot 3{,}0 + 4{,}0 \cdot 2{,}0 + 2{,}0 \cdot 3{,}0) \therefore A = 52\ m^2$

Assim, temos:

$Pot = 5{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{52 \cdot (20 - (-4))}{0{,}26} \therefore Pot = 240\ W$

b. O rendimento η do aquecedor é a relação entre sua potência útil, *Pot*, e a potência total, Pot_T. Temos, então:

$\frac{80}{100} = \frac{240}{Pot_T} \therefore Pot_T = 300\ W$

E, então:

$E = Pot_T \cdot \Delta t \Rightarrow E = 0{,}30 \cdot 24 \therefore E = 7{,}2\ kWh$

5. Conforme os dados na tabela, o calor de combustão da castanha-de-caju é dado por:

$C_c = \frac{70\ kcal}{10\ g} \Rightarrow C_c = 7{,}0\ kcal/g \therefore C_c = 7{,}0 \cdot 10^3\ cal/g$

Considerando que apenas 50% do calor produzido na combustão foi absorvido durante o aquecimento da água, temos:

$0{,}5 \cdot m_c \cdot C_c = m_{água} \cdot C_{água} \cdot \Delta T \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 7{,}0 \cdot 10^3 = 350 \cdot 1 \cdot (T_f - 20) \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 7{,}0 \cdot 10^3 = 350 \cdot 1 \cdot (T_f - 20) \Rightarrow$

$\Rightarrow T_f = \frac{8{,}75 \cdot 10^3}{350} + 20 \therefore T_f = 45\ ^\circ C$

6. Alternativa **b**. Conforme o gráfico dado, calculam-se inicialmente as capacidades térmicas $\left(C = \frac{Q}{\Delta T}\right)$ dos corpos *A* e *B*:

$C_A = \frac{2{,}0 \cdot 10^3\ cal}{80} \therefore C_A = 25\ cal/^\circ C$

$C_B = \frac{10 \cdot 10^3\ cal}{50} \therefore C_B = 200\ cal/^\circ C$

Com a energia térmica recebida de *A* e *B*, o gelo vai se fundir completamente e a água será aquecida à temperatura final de equilíbrio térmico, 10 °C. O somatório dos calores trocados deve ser nulo, logo:

$Q_A + Q_B + Q_{fusão} + Q_{\substack{aquecer \\ a\ água}} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow (C \cdot \Delta T)_A + (C \cdot \Delta T)_B + (M \cdot L)_{\substack{fundir \\ o\ gelo}} +$

$+ (M \cdot c \cdot \Delta T)_{\substack{aquecer \\ a\ água}} = 0 \Rightarrow 25 \cdot (10 - 50) +$

$+ 200 \cdot (10 - 50) + M \cdot 80 + M \cdot 1{,}0 \cdot (10 - 0) = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow M \cdot 90 = 9000 \therefore M = 100\ g$

7. Alternativa **c**. No equilíbrio térmico, temos:

$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0,$

em que Q_1, Q_2 e Q_3 são a quantidade de calor liberada pela a fusão do gelo, absorvida pela água de degelo no aquecimento até a temperatura de equilíbrio, e liberada pelo resfriamento da quantidade inicial de água líquida durante o processo. Assim, temos:

$M \cdot L + M \cdot C_{água} \cdot \Delta T_{degelo} + m_{água} \cdot C_{água} \cdot \Delta T_{água} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow n \cdot 50 \cdot 80 + n \cdot 50 \cdot 1{,}0 \cdot (5{,}0 - 0) +$

$+ 1.000 \cdot 1{,}0 \cdot (5{,}0 - 25) = 0$

Onde *n* é a quantidade de pedras de gelo utilizadas. Resolvendo a equação, obtemos:

$4.250 \cdot n = 20.000 \Rightarrow n = \frac{20.000}{4.250} \therefore n = 4{,}7$

O número *n* deve ser inteiro. Se $n = 4$, a temperatura de equilíbrio térmico será maior que 5,0 °C, o que não cumpre o desejo do cientista. Logo:

$n_{min.} = 5{,}0$ pedras

8. Alternativa **b**. Do gráfico, temos:

Q_1 é a quantidade de calor sensível cedida pela água no resfriamento de 30 °C a 0 °C;

Q_2 é a quantidade de calor latente cedida pela água na solidificação;

Q_3 é a quantidade de calor sensível cedida pelo gelo proveniente da água solidificada no resfriamento de 0 °C a T_f;

Q_4 é a quantidade de calor sensível recebido pelo gelo no aquecimento de −10 °C a T_f.

Do balanço energético, temos:

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$

O que nos leva a:

$m_{água} \cdot c_a \cdot \Delta\theta_4 + m_{água} \cdot L + m_{água} \cdot c_g \cdot \Delta\theta_3 +$

$+ m_{gelo} \cdot c_{gelo} \cdot \Delta\theta_4 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow m \cdot c_a \cdot \Delta\theta_1 + m \cdot L + m \cdot c_g \cdot \Delta\theta_3 + m_g \cdot c_g \cdot \Delta\theta_4 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 10^2 \cdot (0 - 30) + 10^2 \cdot (-80) +$

$+ 10^2 \cdot 0{,}50 \cdot (T_f - 0) + 4{,}5 \cdot 10^3 \cdot 0{,}50 \cdot (T_f + 10) = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow -11 \cdot 10^3 + 50 \cdot T_f + 2{,}25 \cdot 10^3 \cdot T_f + 22{,}5 \cdot 10^3 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_f = \frac{-11{,}5 \cdot 10^3}{2{,}3 \cdot 10^3} \therefore T_f = -5{,}0\ ^\circ C$

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha aos estudantes que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo dessa unidade e as reescreva com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. As atividades propostas nos capítulos podem ser usadas para avaliação formativa, como acompanhamento das aprendizagens e como subsídio para as intervenções necessárias. A seção **Atividades de fechamento** visa avaliar a aprendizagem dos principais conteúdos abordados, incluindo atividades de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Educação midiática

Para produzir um infográfico sobre a crise hídrica atual, usando dados de relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) e/ou Agência Nacional das Águas, sugira aos estudantes que utilizem plataformas digitais. Caso não tenha acesso a computador e internet, pode ser um infográfico impresso, por meio de colagens e desenhos em um cartaz, aplicando técnicas de facilitação gráfica.

Porém, independentemente da escolha dos estudantes, serão necessárias fontes de consulta (físicas ou digitais), folhas avulsas ou computador para organização das informações levantadas, ou plataformas e ferramentas digitais previamente testadas.

As referências suplementares a seguir podem ser úteis na condução da atividade.

IPCC. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Mudança do clima 2023**: Relatório síntese. [*S.l.*]: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 3 nov. 2024.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. Secretaria de Comunicação Social. **Brasil anuncia iniciativa global para a integridade da informação sobre mudanças climáticas**. Brasília, DF: MRE/Secom, 1º maio 2024. Disponível em: https://www.g20.org/pt-br/noticias/brasil-anuncia-iniciativa-global-para-a-integridade-da-informacao-sobre-mudancas-climaticas. Acesso em: 28 out. 2024.

EDUCAMÍDIA. **Multiletramentos***:* como ler de forma reflexiva em qualquer formato. [*S.l.*]: Educamídia, 3 abr. 2020. 1 vídeo (35 min 37 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=DgnN0DRYADY. Acesso em: 28 out. 2024.

EDUCAMÍDIA. **Educação midiática***:* como usar dados e infografia a favor da aprendizagem? [*S.l.*]: Educamídia, 6 ago. 2020. 1 vídeo (49 min 27 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Plf1kS14F98&t=65s. Acesso em: 28 out. 2024.

EDUCAMÍDIA. **Números que contam histórias**. Planos de aula. Disponível em: https://educamidia.org.br/plano-de-aula/numeros-que-contam-historias. Acesso em: 28 out. 2024.

O objetivo dessa seção é desenvolver o pensamento crítico dos estudantes com relação a informações veiculadas em diferentes mídias, fornecendo ferramentas para que possam identificar características como suas fontes e seus objetivos e desenvolvendo a habilidade **EM13CNT303** com a interpretação crítica de textos de divulgação científica em mídias como os infográficos. Proponha a leitura inicial do texto e a discussão das perguntas com toda a turma para trabalhar a **competência geral 9**, exercitando a empatia e o diálogo. Durante a discussão, incentive os estudantes a fornecerem alguns exemplos de situações em que identificaram os aspectos apontados pelas questões.

A **Ampliação de repertório** é o momento que os estudantes podem fazer um levantamento de temas para a produção do conteúdo. Direcione os estudantes para que se mantenham próximos ao tema da unidade, propondo que a pesquisa se relacione com os recursos hídricos no contexto da mudança climática. Algumas questões que podem ser abordadas são a captação de água nos reservatórios locais e se a falta de chuvas tem afetado a capacidade ou se a produção de alimentos tem sido afetada pelo excesso ou falta de chuvas. O tópico **Produção de conteúdo** promove a interdisciplinaridade com Língua Portuguesa e as habilidades **EM13LP30** (Realizar pesquisas de diferentes tipos (bibliográfica, de campo, experimento científico, levantamento de dados etc.), usando fontes abertas e confiáveis, registrando o processo e comunicando os resultados, tendo em vista os objetivos pretendidos e demais elementos do contexto de produção, como forma de compreender como o conhecimento científico é produzido e apropriar-se dos procedimentos e dos gêneros textuais envolvidos na realização de pesquisas.), **EM13LP32** (Selecionar informações e dados necessários para uma dada pesquisa (sem excedê-los) em diferentes fontes (orais, impressas, digitais etc.) e comparar autonomamente esses conteúdos, levando em conta seus contextos de produção, referências e índices de confiabilidade, e percebendo coincidências, complementaridades, contradições, erros ou imprecisões conceituais e de dados, de forma a compreender e posicionar se criticamente sobre esses conteúdos e estabelecer recortes precisos.) e **EM13LP34** (Produzir textos para a divulgação do conhecimento e de resultados de levantamentos e pesquisas – texto monográfico, ensaio, artigo de divulgação científica, verbete de enciclopédia (colaborativa ou não), infográfico (estático ou animado), relato de experimento, relatório, relatório multimidiático de campo, reportagem científica, *podcast* ou *vlog* científico, apresentações orais, seminários, comunicações em mesas-redondas, mapas dinâmicos etc. –, considerando o contexto de produção e utilizando os conhecimentos sobre os gêneros de divulgação científica, de forma a engajar-se em processos significativos de socialização e divulgação do conhecimento.) ao incentivar a pesquisa científica, elaborando e utilizando instrumentos para a coleta de dados e informações e, por fim, a produção de textos para a divulgação do conhecimento e dos resultados da pesquisa. Da mesma forma, a produção do infográfico também fomenta o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT302** e das **competências gerais 4** e **5** ao produzirem uma forma de comunicação para o público diverso utilizando tecnologias digitais de forma crítica e reflexiva de diferentes formas, como a escrita e por infográficos. Para incentivar a produção dos estudantes, compartilhe exemplos de infográficos ou de relatórios de organização com credibilidade.

Você pode dividir em grupos menores para eles se organizarem na execução de tarefas menores, como: identificação de sites e publicações com dados corretos, os principais tópicos para todos terem uma boa leitura de gráficos e tabelas, e outro para identificar diferentes formatos visuais para traduzir informações.

A **Autoavaliação** é um processo que contribui para aumentar a autonomia do estudante, de modo a ajudá-lo na construção do aprendizado, identificando pontos de melhoria. As rubricas correspondem a uma possibilidade de organizar e estabelecer alguns parâmetros para facilitar a reflexão dos estudantes a respeito dos critérios utilizados no processo. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante para cada um dos critérios sugeridos.

UNIDADE 4 TRANSFORMAÇÕES E MOVIMENTOS

Nesta unidade, são abordados os fenômenos térmicos e da termodinâmica. O conteúdo é desenvolvido com base em conceitos abrangentes que permitem analisar as trocas de calor e os comportamentos de diferentes sistemas, do ponto de vista termodinâmico, ampliando, assim, a compreensão sobre as trocas de calor e processos que ocorrem nos gases. A imagem do urso-polar flutuando em um pedaço de gelo derretido demonstra a importância do tema tratado nessa unidade. A urgência de tomarmos medidas que mitiguem as mudanças climáticas é uma das metas do **ODS 13** (Ação contra a mudança global do clima), que pode ser desenvolvido ao longo da unidade.

Se possível, consulte as aberturas das unidades 4 dos volumes de Biologia e de Química, faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza, discutindo a relação entre as alterações na temperatura média global da superfície da Terra e as mudanças nos padrões climáticos, além do impacto da utilização de combustíveis fósseis.

1. Espera-se que os estudantes respondam que os objetos se expandem ou se contraem por causa do frio ou do calor. É importante ressaltar a relação entre a dilatação e o calor, mas também chamar a atenção da turma para o fato de que o conceito de frio não existe na física. Comente que a agitação das moléculas é a responsável por contrair ou dilatar os objetos.
2. Espera-se que os estudantes, inicialmente, confundam esses termos, pois no cotidiano são usados de forma intercambiável. Por isso, é importante notar que, para a física, a temperatura é a medida da agitação das moléculas, enquanto o calor é a energia transferida de um corpo a outro.
3. Espera-se que os estudantes relacionem os conceitos de conservação de energia mecânica estudados em capítulos anteriores. O professor deve guiá-los para uma compreensão de que a energia pode ser transformada, mas não criada ou destruída, também desenvolvendo o entendimento de que o calor é uma forma de energia em trânsito e que, mesmo quando essa energia é dissipada, ela é conservada, mudando apenas de forma.
4. Espera-se que os estudantes relacionem a queima de combustíveis com a geração de energia, o que também indica a contribuição dessas máquinas para o aquecimento global. É importante que compreendam que as máquinas térmicas transformam energia térmica em energia mecânica com base no princípio da conversão de calor em trabalho. Durante essa discussão, pode-se também introduzir o conceito de eficiência energética. Aproveite a resposta sobre a queima de combustíveis para expandir o debate sobre a importância de tecnologias mais sustentáveis, como fontes de energia limpa.

Capítulo 13 Dilatação térmica de sólidos e líquidos

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Compreender o fenômeno de dilatação térmica em sólidos, líquidos e gases, identificando suas causas e efeitos.
- Calcular a variação de comprimento, área ou volume de materiais em consequência da variação de temperatura, utilizando os coeficientes de dilatação linear, superficial e volumétrica.
- Analisar a importância das juntas de dilatação em estruturas como pontes, ferrovias e edifícios para evitar danos estruturais.
- Explicar o comportamento anômalo da água e sua relevância para a manutenção de vida em ecossistemas aquáticos durante baixas temperaturas.
- Aplicar os conceitos de dilatação térmica na resolução de problemas cotidianos.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2; 4
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**: EM13CNT102; EM13CNT301; EM13CNT306; EM13CNT307
- **Habilidade de Matemática e suas Tecnologias**: EM13MAT308

Sugestões didáticas

A abordagem do capítulo pode ser iniciada a partir de questionamentos aos estudantes sobre suas observações cotidianas de dilatação de diferentes materiais, a fim de levantar as concepções prévias dos estudantes sobre o fenômeno. Em seguida, os conceitos de dilatação e contração térmicas podem ser apresentados a partir de exemplos práticos, como a necessidade de juntas de dilatação em pontes e ferrovias, que ajuda a ilustrar a importância do tema no contexto da construção civil. Trabalhar com imagens e vídeos de estruturas que sofreram deformações em consequência da dilatação térmica pode ajudar a contextualizar o impacto desse fenômeno na segurança e durabilidade de obras. Essa abordagem desenvolve a habilidade **EM13CNT102**, incentivando os estudantes a compreenderem a relevância desse conteúdo para a vida em sociedade. Para incentivar o protagonismo dos estudantes, é possível utilizar metodologias ativas. Divida a turma em grupos e proponha que investiguem diferentes situações práticas relacionadas à dilatação térmica, como a dilatação de pisos ou o impacto do calor em motores de veículos. Os grupos podem pesquisar soluções para esses problemas e compartilhar com a turma, estimulando o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** e de habilidades socioemocionais, como trabalho em equipe e comunicação. Durante a explicação, fique atento a possíveis concepções alternativas que os estudantes possam ter, como acreditar que o volume de um material sempre aumenta proporcionalmente à temperatura ou que a dilatação térmica só ocorre em sólidos. Explore esses equívocos por meio de experimentos simples, como o uso de líquidos em termômetros ou de tiras bimetálicas em termostatos, que demonstram a dilatação diferencial entre diferentes materiais, tangenciando as habilidades **EM13CNT306** e **EM13CNT307**. A interpretação de gráficos e o cálculo de variação de comprimento, área e volume, conforme a temperatura varia, favorecem o desenvolvimento da habilidade **EM13MAT308**. A interdisciplinaridade com a Matemática pode ser feita durante a análise de tabelas de coeficientes de dilatação de diferentes materiais, relacionando as expressões matemáticas com a realidade física, apresentando-as como uma forma de expressar essa realidade na linguagem matemática, de obter previsões muito mais precisas e objetivas e responsáveis pelo grande avanço que a Física, enquanto ciência, atingiu. Ao apresentar as equações de dilatação, destaque o papel do coeficiente de dilatação de caracterizar cada material conforme a tendência que tem de se dilatar ou se contrair. Destaque, também, os aspectos empíricos envolvidos na medida desses coeficientes e na obtenção das relações matemáticas apresentadas. Essa abordagem permite o desenvolvimento da **competência geral 4** ao desenvolver o entendimento da interconexão das linguagens científica e matemática.

Para realçar esse caráter empírico do conhecimento físico e a abordagem do **TCT Ciência e Tecnologia**, sugerimos a realização da atividade proposta na seção **Na prática**, que demonstra o funcionamento de equipamentos tecnológicos. É interessante que o experimento seja realizado pelos próprios estudantes, em pequenos grupos. Caso não seja possível, ele pode ser realizado em caráter demonstrativo. Também nesse sentido, a **Atividade complementar** proposta a seguir pode ser realizada com os estudantes para que observem o fenômeno da dilatação térmica. Essas atividades práticas favorecem o desenvolvimento da **competência geral 2**, ao incentivar a curiosidade intelectual e recorrer a abordagens científicas para investigar um fenômeno.

Atividade complementar
Dilatação térmica

Materiais

- Barra metálica (ferro, alumínio ou cobre)
- Chama de álcool ou aquecedor elétrico
- Suporte de madeira ou metal
- Régua ou paquímetro
- Termômetro
- Cronômetro
- Água e recipientes (para controle da temperatura)

Procedimento

- Os estudantes deverão fixar a barra metálica em um suporte, deixando uma das extremidades livre para dilatar.
- Usando o termômetro, eles medirão a temperatura inicial da barra.
- É recomendado que a próxima etapa seja realizada por você, professor, para evitar acidentes e garantir a segurança dos estudantes. Aqueça a barra de forma controlada, utilizando a chama ou o aquecedor, e chame a atenção dos estudantes para que observem a dilatação da extremidade livre.
- Peça a eles que meçam a variação do comprimento da barra com a régua ou o paquímetro.
- Com base nos dados de variação de comprimento e temperatura, os estudantes calcularão o coeficiente de dilatação térmica linear usando a expressão: $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$
- Ao final, peça aos estudantes que comparem o valor calculado do coeficiente de dilatação com os valores tabelados para o material utilizado.

Resoluções e comentários
Aplique e registre

1. a. $\Delta T = 70 - 20 \therefore \Delta T = 50\ °C$

Como o intervalo térmico correspondente a 1 K equivale ao intervalo térmico de 1 °C, temos $\Delta T = 50$ K.

b. Aplicando a equação da dilatação térmica linear, temos:

$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow$

$\Rightarrow L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow L = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

Considerando os valores dados, temos, então:

$L = 20{,}000 \cdot (1 + 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 50) \ \therefore L = 20{,}012$ m

2. Alternativa **b**. Pela equação de dilatação linear, podemos escrever:

$\frac{\Delta L}{\Delta T} = L_0 \cdot \alpha$

Com base no gráfico, podemos escrever:

$\text{tg}\,\theta = \frac{\Delta L}{\Delta T} \Rightarrow \text{tg}\,\theta = L_0 \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\text{tg}\,\theta}{L_0}$

Considerando os valores de L_0 para as barras *A* e *B* mostrados no gráfico, temos:

$\alpha_A = \frac{\text{tg}\,\theta}{L_0}$ e $\alpha_B = \frac{\text{tg}\,\theta}{2L_0}$

Assim, temos:

$\frac{\alpha_A}{\alpha_B} = \frac{\frac{\text{tg}\,\theta}{L_0}}{\frac{\text{tg}\,\theta}{2L_0}} \Rightarrow \frac{\alpha_A}{\alpha_B} = 2 \Rightarrow \alpha_A = 2 \cdot \alpha_B$

3. A temperatura pode variar ao longo do dia ou das estações, fazendo com que os materiais de revestimento se expandam com o calor e se contraiam com o frio. Se não houver juntas de dilatação adequadas, essa expansão poderá fazer com que os ladrilhos ou placas cerâmicas se descolem da argamassa, causando estufamento e, em casos mais graves, a necessidade de reparo ou substituição.

4. Alternativa **e**. Para o desencaixe dos copos, o copo *A* deve contrair-se e/ou o copo *B* deve dilatar-se, o que ocorre colocando água gelada em *A* e mergulhando *B* em água quente.

5. I. Incorreta. Se os tanques não fossem subterrâneos, na hora mais quente o combustível estaria dilatado, portanto com menos massa por unidade de volume.

II. Correta. Se os tanques não fossem subterrâneos, o ideal seria comprar gasolina quando ela estivesse mais fria, com mais massa por unidade de volume.

III. Correta. A dilatação térmica afeta o volume da gasolina, fazendo com que ela se expanda em dias quentes e se contraia em dias frios. No entanto, a massa da gasolina (medida em quilogramas) não muda com a temperatura.

6. O volume que extravasa corresponde à dilatação aparente do mercúrio, ΔV_{ap}, dada por:

$\Delta V_{ap} = \Delta V_{Hg} - \Delta V_{Vi} \Rightarrow \Delta V_{ap} = V_0 \cdot \gamma_{Hg} \cdot \Delta T - V_0 \cdot \gamma_{Vi} \cdot \Delta T \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta V_{ap} = V_0 \Delta T \cdot (\gamma_{Hg} - \gamma_{Vi}) \Rightarrow \Delta V_{ap} = V_0 \cdot \Delta T \cdot (\gamma_{Hg} - 3 \cdot \alpha_{Vi}) \Rightarrow$

$\Rightarrow 1{,}80 = 100 \cdot 120 \cdot (18 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot \alpha_{Vi}) \Rightarrow$

$\Rightarrow 15 \cdot 10^{-5} = 18 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot \alpha_{Vi} \Rightarrow 3 \cdot \alpha_{Vi} = 3 \cdot 10^{-5}$

$\therefore \alpha_{Vi} = 1 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

7. Isso ocorre porque a rede cristalina da água, quando no estado sólido, ocupa mais espaço que o arranjo molecular da mesma massa no estado líquido.

Na prática

Antes de iniciar a atividade, discuta com os estudantes a questão apresentada no item **Prepare-se!**. Espera-se que, a partir dessa discussão, os estudantes concluam que a lâmina de baixo tem o maior coeficiente de dilatação linear, o que faz com que ela se dilate mais do que a de cima, levando ao curvamento.

1. Espera-se que os estudantes verifiquem que isso ocorre para a lâmina com o papel sulfite.

2. Espera-se que os estudantes considerem que, em razão do maior tempo necessário para o desligamento do circuito, isso deve ter ocorrido no caso da lâmina de cartolina mais espessa.

3. Espera-se que os estudantes percebam que, nesse caso, o circuito seria interrompido mais rapidamente, pois seria necessária uma menor deformação da lâmina para que isso ocorresse.

4. Nessa questão, espera-se que os estudantes indiquem as características de seus termostatos. Por exemplo, para que a lâmina se encurve mais rápido, desligando o circuito mais rapidamente e levando a um menor aquecimento do alumínio, ou seja, para um termostato mais sensível, deve ser usada a lâmina com papel sulfite.

5. Espera-se que os estudantes façam uma avaliação do experimento, identificando, principalmente, mudanças que poderiam ser feitas para facilitar sua realização ou para a obtenção de outros resultados, mais precisos, mais completos, ou abordando também outras temáticas.

6. Espera-se que os estudantes percebam e consigam destacar as principais observações realizadas, reflexões e questionamentos feitos. Organize o momento de troca entre os diferentes grupos, estimulando um diálogo produtivo entre eles. Para

isso, é fundamental que os estudantes se sintam à vontade para se colocar e expressar dúvidas. Estimule-os a isso.

Atividades de fechamento

1. a $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta L = 25 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot (50 - 10) \therefore \Delta L = 1{,}0$ mm

b. $\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta A = A_0 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta A = 25 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot (50 - 10) \therefore \Delta A = 5\ cm^2$

2. Alternativa **d**. O material que se dilata mais no aquecimento também se contrai mais no resfriamento. Na lâmina da esquerda, o metal 1 se contraiu mais que o metal 2; logo:
$\alpha_1 > \alpha_2$
Já na lâmina da direita, o metal 3 se contraiu mais que o metal 1; logo:
$\alpha_3 > \alpha_1 \Rightarrow \alpha_3 > \alpha_1 > \alpha_2$

3. Alternativa **c**. O envergamento da lâmina evidencia que a parte de latão se dilatou mais do que a de invar. Logo, o coeficiente de dilatação do latão é maior que o do invar.

4. Alternativa **b**. As hastes são fabricadas com o mesmo material e aquecidas igualmente, mas o comprimento inicial da barra *A* é maior que o da barra *B*, logo $\Delta L_A > \Delta L_B$. Com isso, *C* se eleva mais do lado esquerdo e o bloquinho desliza para a direita, no sentido de *B*.

5. Para que a plataforma se mantenha na horizontal, devemos ter:
$\Delta L_{ferro} = \Delta L_{concreto} \Rightarrow$
$\Rightarrow \alpha_{ferro} \cdot L_{0_{ferro}} = \alpha_{concreto} \cdot L_{0_{concreto}} \Rightarrow$
$\Rightarrow 13 \cdot 10^{-6} \cdot (7{,}8 - h) = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 7{,}8 \therefore h = 0{,}60$ m

6. Alternativa **c**. Nas condições iniciais, temos:
$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{Y_0}{X_0}$
Nas condições finais:
$\operatorname{tg} \theta = \frac{Y}{X} \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{Y_0(1 + \alpha \Delta T)}{X_0(1 + \alpha \Delta T)} \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{Y_0}{X_0}$
Logo:
$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \theta_0 = 0{,}40$

7. a. A quantidade de energia térmica solar pode ser calculada como:
$I = \frac{Q}{A \cdot \Delta T} \Rightarrow 1.000 = \frac{Q}{10.000 \cdot 5 \cdot 3.600}$
$\therefore Q = 1{,}8 \cdot 10^{11}$ J

b. Sendo $Q = 1{,}8 \cdot 10^{11}$ J $= 0{,}45 \cdot 10^{11}$ cal; $m = 10 \cdot 10^9$ g; $c = 0{,}20$ cal/(g · °C) e $\theta_0 = 20{,}0$ °C, calculemos a temperatura final θ atingida pelo aço que constitui a torre:
$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot (T - T_0) \Rightarrow$
$\Rightarrow 0{,}45 \cdot 10^{11} = 10 \cdot 10^9 \cdot 0{,}20 \cdot (T - 20) \Rightarrow$
$\Rightarrow 45 = 2 \cdot (T - 20) \Rightarrow 22{,}5 = T - 20{,}0 \therefore Q = 42{,}5$ °C

c. Com $L_0 = 324$ m, $\alpha = 1{,}1 \cdot 10^{-5}$ °C^{-1} e $\Delta T = 35 - (-5) = 40$ °C, temos:
$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta L = 324 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot 40$
$\therefore \Delta L = 14{,}3$ cm

8. Alternativa **e**.

I. Falsa. Por seu comportamento anômalo, a água se contrai quando a aquecemos de 0 °C a 4 °C, tornando-se mais densa.

II. Verdadeira. Em razão do comportamento anômalo da água, as porções de água com temperatura entre 0 °C e 4 °C são menos densas que as porções a temperaturas mais altas, fazendo com que fiquem sobre a superfície.

III. Verdadeira. O gelo é um bom isolante térmico e, por isso, a camada sólida que se forma sobre a água líquida protege toda sorte de vida subaquática das intempéries climáticas do ambiente externo.

9. Alternativa **c**. Aplicando a equação da dilatação volumétrica, temos:
$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow A \cdot \Delta h = A \cdot h_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$
Admitindo que a área superficial dos oceanos não se modifica, temos:
$\Delta h = h_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta h = 4.000 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \therefore \Delta h = 0{,}8$ m

10. O fenômeno será mais bem notado no recipiente *B*, que tem apenas a superfície da água exposta diretamente ao resfriamento imposto pelo congelador. O restante da massa fica isolada termicamente pelo isopor, de maneira similar ao que ocorre na natureza, em que o solo que envolve a água promove o isolamento térmico. No recipiente *A* a água congela por inteiro porque o alumínio é um ótimo condutor térmico.

11. a. A solidificação da água dentro dos dutos de casas e edifícios danifica as instalações hidráulicas. A solução para isso é aterrar os canos a grandes profundidades e revestir os dutos aéreos, alojados no interior de paredes divisórias, com materiais isolantes térmicos.

b. A solidificação da água nos sistemas de refrigeração dos veículos (radiadores e pequenos dutos de circulação de fluidos) danifica esses sistemas. Uma solução para isso é utilizar líquidos de arrefecimento com ponto de solidificação abaixo de 0 °C.

c. Nas plantas, a seiva congela e o aumento de volume verificado estoura os vasos de circulação, matando as brotações mais tenras e as folhas, que começam a cair quando chega o outono nos países frios.

Capítulo 14 Escalas termométricas e gases ideais

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Identificar as principais escalas termométricas existentes (°C, °F e K) e suas relações, além de realizar a conversão de valores entre elas.
- Descrever os principais aspectos relacionados à teoria cinética molecular dos gases ideais, inclusive o processo histórico de sua fundamentação na Ciência.
- Identificar e distinguir as variáveis de estado dos gases – pressão, volume e temperatura –, compreendendo suas inter-relações e sua importância para o estudo das transformações gasosas.
- Definir o conceito de transformação isotérmica, isobárica e isovolumétrica, identificando qual variável de estado se mantém constante e como se dá a relação entre as outras variáveis no processo.
- Utilizar simulador digital para analisar o comportamento dos gases quando uma ou mais variáveis de estado são alteradas.
- Descrever as transformações gasosas utilizando os postulados da teoria cinética molecular dos gases ideais.
- Identificar situações em que as três variáveis de estado variam concomitantemente, de modo a utilizar, nesses casos, as relações trazidas pela equação de Clapeyron.

- Descrever a lei geral dos gases ideais, compreendendo a sua importância no estudo das relações entre as variáveis de estado de uma porção de massa de um gás ideal.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 4; 5; 6
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101; EM13CNT203; EM13CNT302; EM13CNT306

Sugestões didáticas

Este capítulo pode ser articulado com o professor de Química, que se ocupa com o estudo dos gases ideais, para uma abordagem interdisciplinar.

Para a abordagem inicial dos conceitos de temperatura e calor, sugerimos a referência suplementar BARBOSA, A. R. **Atividades lúdicas no Ensino de Física**: desafios e possibilidades para a EJA. 2018. 129 f., il. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/34902/1/2018_AlexandreRodriguesBarbosa.pdf. Acesso em: 30 set. 2024. O texto propõe atividades lúdicas para trabalhar os temas apresentados no capítulo, como a construção de murais de fotografias que representem, separadamente, as concepções de calor e temperatura. Essa abordagem favorece o desenvolvimento da **competência geral 4** ao incentivar o uso de diferentes linguagens para expressar conceitos científicos.

Neste contexto, sugerimos também a referência suplementar KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, S. S. Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 84-96, 2002. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4133/2698. Acesso em: 30 set. 2024. Este artigo traz diferentes concepções acerca dos conceitos de calor e temperatura e discute as dificuldades no ensino de Física sobre as diferentes compreensões desses conceitos.

É importante que os estudantes percebam que os termos "temperatura" e "calor" são utilizados como sinônimos em diversas situações do cotidiano, mas que, na Física, eles possuem significados distintos. Eles devem compreender o calor como a energia trocada entre os corpos devido a uma diferença de temperatura entre eles; e temperatura como uma medida do grau de agitação das partículas que compõem um corpo. Tanto temperatura quanto calor são grandezas mensuráveis, mas medidas em diferentes unidades.

Para uma contextualização histórica dos cientistas Charles e Clayperon, importantes colaboradores para o conhecimento do comportamento dos gases, sugerimos as referências suplementares a seguir:

SÓ QUÍMICA. **Jacques Charles**. Biografias. Só Química. Porto Alegre: Virtuous tecnologia da informação, [*S.d.*]. Disponível em: https://www.soquimica.com.br/biografias/jacques_charles/. Acesso em: 3 nov. 2024.

SÓ QUÍMICA. **Clapeyron**. Biografias. Só Química. Porto Alegre: Virtuous tecnologia da informação, [*S.d.*]. Disponível em: https://www.soquimica.com.br/biografias/clapeyron/. Acesso em: 1º out. 2024.

Proponha a leitura dos textos para o desenvolvimento da **competência geral 1**, ajudando a desmistificar a ideia de Ciência como instituição dogmática e a-histórica. No caso especial da teoria cinética molecular, postulada pelo físico e matemático suíço Daniel Bernoulli (1700-1782) no século XVIII, apresente informações acerca desse século, que foi influenciado fortemente pela Revolução Científica, ocorrida entre o século XVI e o século XVIII.

A teoria cinética dos gases foi desenvolvida por diversos cientistas ao longo dos séculos XVIII e XIX, esse fato atribui relevância à abordagem da História da Ciência no estudo desse conceito, considerando os contextos social, político e cultural.

Ao trabalhar a seção **Em foco**, os estudantes podem refletir sobre as consequências da ação humana nas mudanças climáticas, o que favorece o desenvolvimento do **ODS 13**.

No tópico "Transformações gasosas", sugerimos que a turma seja dividida em três grupos, um para cada transformação gasosa (isotérmica, isobárica e isovolumétrica). Cada grupo deve ser responsável por apresentar as principais características de uma das transformações gasosas, além de apresentar exemplos do cotidiano que envolvem tais transformações, discutindo suas aplicações e realizando uma análise dos riscos e benefícios envolvidos, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**.

Os estudantes deverão apresentar gráficos e equações relacionados à sua temática. Durante as apresentações de cada grupo, os demais estudantes deverão elaborar uma síntese com as principais características expostas, mantendo-se atentos às apresentações dos colegas de turma e colaborando na avaliação da aprendizagem. Assim, será favorecido o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT302**, além da **competência geral 4**.

Os demais tópicos podem ser apresentados e discutidos por meio dos exercícios e das simulações propostos no livro do estudante, que favorecem a habilidade **EM13CNT101** e a **competência geral 5**. Para dar fechamento ao trabalho com o capítulo e avaliar as aprendizagens, sugira a reflexão das dificuldades encontradas para a compreensão dos conceitos, das relações e das análises feitas durante o estudo dos gases. Incentive os estudantes a registrar a reflexão realizada com a finalidade de auxiliá-los a concretizar os aprendizados e a identificar as lacunas de compreensão, estabelecendo estratégias para resolvê-las. Esse exercício favorece o desenvolvimento das **competências gerais 1** e **6**.

Atividade complementar

Escalas termométricas

Proponha aos estudantes que se dividam em pequenos grupos (3 a 4 integrantes) para que elaborem novas escalas termométricas. Cada grupo deve escolher um nome para sua escala proposta e uma substância com pontos de fusão e ebulição conhecidos na escala Celsius para usar como referência. Então, os estudantes devem adotar valores aleatórios para os pontos de fusão e ebulição na nova escala, podendo ser positivos ou negativos, desde que o valor do ponto de fusão seja menor que o valor do ponto de ebulição. Os grupos devem também elaborar uma apresentação sobre as escalas elaboradas e como realizar a conversão entre elas e as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

Após os grupos apresentarem suas escalas para o restante da turma na sala de aula, proponha uma atividade lúdica como uma gincana, ainda em grupo. Primeiramente, escolha uma lista de temperaturas, como a temperatura normal do corpo humano, a temperatura média nos países mais gelados do mundo, a temperatura do Sol, a temperatura ambiente do dia em que a atividade está sendo realizada, entre outras. A cada rodada da gincana, apresente um valor da lista a todos os grupos e peça a eles que convertam para suas próprias escalas. O grupo que fizer a conversão de forma correta e em menor tempo recebe um ponto.

Depois, com as informações sobre todas as escalas distribuídas entre os estudantes, faça uma rodada de perguntas para que eles comparem as escalas, como: "Qual é a escala que possui maior valor numérico para a ebulição da água?", "Quantas escalas possuem

valores estritamente positivos?", "Quantas escalas possuem valores estritamente negativos?", "Em qual(is) escala(s) a temperatura de 0 °C é negativa?", entre outras opções. Novamente, distribua pontos para os grupos cujas respostas estejam corretas.

Para finalizar a atividade, discuta com os estudantes a necessidade e utilidade de escalas termométricas diferentes. Questione as questões práticas e históricas, por exemplo, na adoção da escala Celsius ou da escala Fahrenheit por diferentes países. Discuta se alguma das escalas propostas na atividade seria mais ou menos adequada ao uso cotidiano e/ou em artigos científicos, por exemplo. Os estudantes devem entender a importância da padronização da escala termométrica para facilitar o entendimento da população, assim como a importância de uma escala absoluta, como a escala Kelvin, para o uso na Ciência.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A temperatura de um corpo aumenta quanto maior a agitação das partículas, pois a energia térmica de partículas com maiores velocidades é maior.

2. Os pontos fixos de referência geralmente adotados são o de fusão do gelo e de ebulição da água. Eles equivalem, respectivamente, a 0 °C e 100 °C na escala Celsius, 32 °F e 212 °F na escala Fahrenheit, e 273 K e 373 K na escala Kelvin.

3. Podemos usar a relação entre as escalas Celsius e Fahrenheit, assumindo que $T_C = T_F$:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{T}{5} = \frac{T - 32}{9} \Rightarrow 9T = 5T - 5 \cdot 32 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 4T = -160 \therefore T = -40\ °C \text{ ou } T = -40\ °F$$

4. Podemos calcular a variação de temperatura em outras escalas com base na variação das temperaturas de fusão do gelo e ebulição da água:

$$\frac{\Delta T_C}{100 - 0} = \frac{\Delta T_F}{212 - 32} = \frac{\Delta T_K}{100 - 0}$$

Portanto, na escala Kelvin, temos:

$$\frac{\Delta T_C}{100 - 0} = \frac{\Delta T_K}{100 - 0} \therefore \Delta T_K = \Delta T_C = 70\ K$$

Na escala Fahrenheit, temos:

$$\frac{\Delta T_C}{100 - 0} = \frac{\Delta T_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta T_C}{100} = \frac{\Delta T_F}{180} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \Delta T_F = \frac{180 \cdot \Delta T_C}{100} \Rightarrow \Delta T_F = 1{,}8 \cdot \Delta T_C$$
$$\therefore \Delta T_F = 126\ °F$$

5. De acordo com a teoria cinética molecular dos gases ideais, a energia cinética média das partículas de um gás é maior quanto maior for a temperatura do gás.

6. Aplicando a lei de Boyle-Mariotte, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow p_1 \cdot V_1 = (p_1 + 0{,}1p_1) \cdot V_2 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow p_1 \cdot V_1 = 1{,}1p_1 \cdot V_2 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{1{,}1} \Rightarrow V_2 \simeq 0{,}909V_1 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \Delta V = V_2 - V_1 \simeq 0{,}909V_1 - V_1 \simeq -0{,}091V_1$$

Portanto, ocorre uma diminuição do volume de aproximadamente 9,09%.

7. Com o aumento da temperatura do gás, seu volume também aumenta, fazendo o êmbolo se deslocar para cima e mantendo a pressão do gás constante (expansão isobárica).

8. Em uma transformação isovolumétrica, podemos usar a segunda lei de Charles e Gay-Lussac: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Assim, temos que:

a. Se a temperatura do gás aumentar, a pressão do gás deverá aumentar.

b. Se a temperatura do gás diminuir, a pressão do gás deverá diminuir.

9. A equação de Clapeyron é:
$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, que relaciona a pressão do gás (p), o volume do gás (V), o número de partículas do gás (n), a constante universal dos gases (R) e a temperatura absoluta do gás (T).

10. A constante R é a constante universal dos gases, e seu valor pode ser determinado considerando-se 1 mol de um gás ideal em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) na equação de estado, com 1 atm para a pressão (p), 22,414 L para o volume (V) e 273,15 K para a temperatura (T).

11. Pela lei geral dos gases ideais:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{3p_1 \cdot V_2}{4T_1} \therefore V_2 = \frac{4V_1}{3}$$

Portanto, o volume será igual a $\frac{4}{3}$ de seu volume inicial.

12. O trecho *BA* representa uma contração isobárica, enquanto o trecho *AC* representa uma expansão isotérmica. No ponto *B*, a pressão do gás é de 8 atm, a temperatura é 1.200 K e o volume é 6 L (valores retirados diretamente do gráfico). No ponto *A*, a pressão é 8 atm e o volume é 3 L. Para calcular a temperatura, podemos usar a primeira lei de Charles e Gay-Lussac:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{3}{T_A} = \frac{6}{1.200} \therefore T_A = 600\ K$$

No ponto *C*, a pressão do gás é 4 atm, o volume é 6 L e a temperatura se mantém em 600 K por ser uma transformação isotérmica.

Em foco

1. A atmosfera protege o planeta de radiações nocivas e de corpos de diferentes tamanhos que bombardeiam a Terra, além de regular a temperatura do planeta e distribuir a água em circulação.

2. Espera-se que os estudantes analisem como a temperatura do planeta vem mudando ao longo do tempo.

3. A queima direta de combustíveis fósseis, a geração de energia elétrica por fontes que utilizam derivados de carvão e petróleo, atividades industriais e de transporte, o aumento do desmatamento e a ampliação de áreas para a agropecuária são as principais causas da intensificação das mudanças climáticas após o início da Segunda Revolução Industrial.

4. Espera-se que os estudantes reflitam sobre a relação entre as mudanças na composição da atmosfera e o aumento da ocorrência de eventos extremos, por exemplo, que afetam diretamente a população.

5. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre as ações que eles podem tomar, sobre a importância das ações individuais, e que conheçam as ações propostas pelos governos.

Atividades de fechamento

1. Podemos usar a equação de conversão entre as escalas termométricas Celsius e Fahrenheit:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{-200}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \Rightarrow -40 \cdot 9 = T_F - 32 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow T_F = -360 + 32 \therefore T_F = -328\ °F$$

Entre as escalas termométricas Celsius e Kelvin:

$T_C = T_K - 273 \Rightarrow T_K = -200 + 273 \therefore T_K = 73\ \text{K}$

2. Podemos usar a equação de conversão entre as escalas termométricas Celsius e Fahrenheit, sendo x a temperatura em Celsius e y a temperatura em Fahrenheit:

$\frac{x}{5} = \frac{y-32}{9}$

Substituindo $y = 2x$:

$\frac{x}{5} = \frac{2x-32}{9} \Rightarrow 9x = 10x - 160 \therefore x = 160\ ^\circ\text{C}$

3. Sabendo que o deslocamento é proporcional à temperatura, podemos escrever:

$\frac{x_A}{T_A} = \frac{x_B}{T_B} \Rightarrow \frac{16}{T_A} = \frac{24}{48} \therefore T_A = 32\ ^\circ\text{C}$

4. Alternativa **e**. Fazendo a conversão entre as escalas Fahrenheit e Celsius:

$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{T_C}{5} = \frac{68-32}{9} \therefore T_C = 20\ ^\circ\text{C}$

Então, podemos criar uma equação de conversão entre as escalas termométricas Celsius e X:

$\frac{T_C - (-30)}{50 - (-30)} = \frac{T_X - (-60)}{40 - (-60)} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{T_C + 30}{80} = \frac{T_X + 60}{100} \Rightarrow \frac{20+30}{80} = \frac{T_X + 60}{100} \Rightarrow$

$\Rightarrow T_X = \frac{100 \cdot 50}{80} - 60 \therefore T_X = 2{,}5\ ^\circ\text{X}$

5. Alternativa **d**. Convertendo a temperatura de Celsius para Fahrenheit:

$\frac{\Delta T_C}{100-0} = \frac{\Delta T_F}{212-32} \Rightarrow \frac{6}{100} = \frac{\Delta T_F}{180} \therefore \Delta T_F = 10{,}8\ ^\circ\text{F}$

Sendo a frequência cardíaca mínima de 9 batimentos por minuto, podemos calcular R, atentando para as unidades de R (°F · s):

$R = \frac{10{,}8}{\frac{9}{60}} \Rightarrow R = \frac{10{,}8 \cdot 60}{9} \therefore R = 72\ ^\circ\text{F} \cdot \text{s}$

6. Alternativa **a**. As moléculas de um gás ideal só exercem força quando colidem.

7. Alternativa **e**. Durante o resfriamento do pneu, a temperatura deve diminuir e a pressão deve diminuir também em uma transformação isovolumétrica.

8. **a.** A transformação 1 → 2 é isobárica, a 2 → 3 é isométrica e a 3 → 1 é isotérmica.

b. Podemos calcular a temperatura no ponto 2 usando a primeira lei de Charles e Gay-Lussac:

$\frac{1{,}5}{400} = \frac{3}{T_2} \therefore T_2 = 800\ \text{K}$

Já no ponto 3, sabemos que a temperatura será igual à do ponto 1, $T_3 = 400$ K, já que a transformação 3 → 1 é isotérmica.

9. **a.** Podemos utilizar a equação de Clapeyron, lembrando de utilizar a temperatura na escala Kelvin:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 2 \cdot 35 = n \cdot 0{,}082 \cdot (25 + 273)$

$\therefore n \simeq 2{,}86\ \text{mols}$

b. Sabendo que $n = \frac{m}{M}$, temos:

$m = 2{,}86 \cdot 28 \simeq 80\ \text{g}$

c. Nas condições de pressão e temperatura consideradas, temos:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 2 \cdot V = 1 \cdot 0{,}082 \cdot (25 + 273)$

$\therefore V \simeq 12{,}2\ \text{L}$

10. Usando a lei geral dos gases ideais, temos:

$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{0{,}5 \cdot 6.000}{(20+273)} = \frac{0{,}25 \cdot V_2}{450} \therefore V_2 \simeq 18.430\ \text{cm}^3$

11. Alternativa **d**. Primeiramente precisamos calcular o volume da bexiga, usando a equação do volume de uma esfera:

$V_1 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$

$V_2 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (2R)^3$

Então, podemos usar a equação de Clapeyron:

$p_1 \cdot V_1 = n_1 \cdot R \cdot T_1$

$p_2 \cdot V_2 = n_2 \cdot R \cdot T_2$

Assim, a razão entre n_2 e n_1 pode ser escrita como:

$\frac{n_2}{n_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \cdot \frac{T_1}{p_1 \cdot V_1}$

Substituindo os valores, temos:

$\frac{n_2}{n_1} = \frac{(p_1 + 0{,}45\,p_1) \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (2R)^3}{(17+273)} \cdot \frac{7+273}{p_1 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{1{,}45 \cdot 2^3 \cdot 280}{290} \simeq 11{,}2$

12. Alternativa **c**. Podemos utilizar a equação de Clapeyron, utilizando a temperatura na escala Kelvin e o volume em litros:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p \cdot 0{,}1 = 0{,}1 \cdot 0{,}082 \cdot (650 + 273)$

$\therefore p \simeq 76\ \text{atm}$

13. **a.** A força média pode ser obtida a partir da pressão e da área da superfície esférica da bola, lembrando que o raio equivale à metade do diâmetro da bola:

$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{4\pi \cdot R^2} \Rightarrow 1{,}1 \cdot 10^5 = \frac{F}{4 \cdot 3 \cdot (0{,}1)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow F = 1{,}32 \cdot 10^4\ \text{N} \therefore F = 13{,}2\ \text{kN}$

b. Em uma transformação isovolumétrica, podemos usar a segunda lei de Charles e Gay-Lussac:

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{0{,}6}{(273+15)} = \frac{0{,}7}{T_2} \therefore T_2 = 336\ \text{K}$

$T_2 = 336 - 273 \therefore T_2 = 63\ ^\circ\text{C}$

c. Primeiro, vamos calcular o volume da bola em m^3 e converter o valor para L:

$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \Rightarrow V = \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot (0{,}1)^3 \Rightarrow V = 4 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$

$\therefore V = 4\ \text{L}$

Então, usando a equação de Clapeyron, temos:

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow$

$\Rightarrow 1 \cdot 4 = n \cdot 0{,}082 \cdot (27 + 273) \therefore n \simeq 0{,}16\ \text{mol}$

Capítulo 15 Transformações energéticas em sistemas termodinâmicos

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Calcular o trabalho realizado por um gás ideal sobre o meio externo, assim como o trabalho realizado pelo meio sobre o gás.
- Identificar, por meio do estudo do sinal algébrico das grandezas calor, energia interna e trabalho, as possíveis variações de estado de um gás ideal.
- Analisar transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos.

- Realizar previsões e avaliar intervenções de sistemas térmicos, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento.
- Analisar questões, elaborar hipóteses e previsões usando conceitos da Termodinâmica, além de interpretar dados para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competência geral:** 1
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101; EM13CNT102; EM13CNT301

Sugestões didáticas

A discussão sobre trabalho e energia interna em sistemas termodinâmicos contribui para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT102**, ao possibilitar a realização de previsões e avaliações de intervenções de sistemas térmicos considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas, e **EM13CNT301**, pois permite analisar questões, elaborar hipóteses e previsões com base em conceitos da Termodinâmica.

Uma possível abordagem para o estudo da primeira lei da Termodinâmica é o desenvolvimento histórico da temática, contribuindo para o entendimento da atividade científica e o desenvolvimento do processo de construção do conhecimento científico ao longo da história. Para aprofundar a questão histórica, sugere-se como referência suplementar o texto de BRITO, A. A. S. "Flogisto", "calórico" & "éter". **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 20, n. 3-4, p. 51-63, 2008. Disponível em: https://scielo.pt/pdf/ctm/v20n3-4/v20n3-4a08.pdf. Acesso em: 3 nov. 2024. O texto aborda o desenvolvimento do conceito de calor como substância, desde a Grécia Antiga até o século XX, contemplando as contribuições de diversos cientistas para a Termodinâmica. A abordagem histórica pode ser trabalhada com os estudantes a partir da proposta de **Atividade complementar**, que promove o desenvolvimento da **competência geral 1**, com enfoque na valorização e utilização dos conhecimentos historicamente construídos acerca do mundo físico, social, cultural e digital, para entender e explicar a realidade.

A ideia de conservação de energia, conforme a primeira lei da Termodinâmica, pode ser explorada por meio do estudo de sinais das grandezas Q, T e ΔU, explicitando o comportamento dos gases ideais sob diferentes condições. Ao resolver os problemas propostos nas seções **Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**, será trabalhada a habilidade **EM13CNT101** ao analisar transformações e conservações em sistemas que envolvem quantidade de energia para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos.

A seção **Em foco** trata do papel dos alimentos e dos nutrientes para a obtenção de energia pelo corpo humano, associando-o à ideia de sistema termodinâmico. O tema pode ser discutido de forma interdisciplinar com Biologia no contexto do **TCT Educação alimentar e nutricional**, além de estar alinhado ao **ODS 2** (Fome zero e agricultura sustentável), uma vez que discute a importância de uma alimentação nutritiva e balanceada.

Atividade complementar

O conceito de calor

Sugira aos estudantes a leitura do artigo BRITO, A. A. S. "Flogisto", "calórico" & "éter". **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 20, n. 3-4, p. 51-63, 2008. Disponivel em: https://scielo.pt/pdf/ctm/v20n3-4/v20n3-4a08.pdf. Acesso em: 3 nov. 2024. Proponha a eles que, em grupos de 3 ou 4 estudantes, façam a leitura do tópico 2. Lavoisier repudia o "flogisto" mas adopta o "calórico". Peça a eles que anotem as palavras que desconhecem, marquem as partes consideradas principais para o entendimento do texto e, em seguida, pesquisem os significados e compartilhem o que entenderam do texto.

Na lousa, construa uma linha do tempo com os estudantes para registrar os principais fatos históricos que modificaram o conceito de calor ao longo do tempo.

A linha do tempo pode contemplar mais ou menos fatos, de acordo com o tempo disponível para a produção, as discussões e os acontecimentos que chamarem a atenção dos estudantes.

Converse com os estudantes sobre o conceito de calórico, considerando os registros que eles fizeram anteriormente. Em seguida, questione-os sobre a diferença entre o conceito de calor e o conceito de calórico. O calórico era compreendido como matéria – fosse partícula ou fluido –, que era uma propriedade dos corpos e podia ser transferida entre eles. O calor é entendido como energia, que se transfere de um corpo a outro, pode se transformar em outros tipos de energia (mecânica, elétrica etc.) e se conserva em relação ao sistema total.

A partir dos episódios descritos no artigo, discuta com os estudantes sobre o trabalho conjunto dos cientistas no desenvolvimento de conceitos científicos ao longo do tempo. Destaque que a Ciência se mostra passível de falhas, inacabada e que está em constante construção. O artigo retrata que o conhecimento sobre calor demorou muitos e muitos anos para ser desenvolvido e, ainda assim, não está acabado. As teorias são aceitas na medida em que podem explicar os fenômenos e começam a ser colocadas em dúvida quando novas interpretações começam a despontar no cenário científico. Esse episódio mostra a participação de inúmeros cientistas que trabalhavam colaborativamente e também em processo de disputas pela aceitação de suas ideias.

Se achar conveniente, comente com os estudantes como os estudos científicos sobre Termodinâmica influenciaram a Revolução Industrial.

Nessa época, entre 1760 e 1840, cientistas e engenheiros trabalharam na produção de máquinas que eram aperfeiçoadas para melhorar seu rendimento. À medida que as máquinas melhoravam do ponto de vista tecnológico, o entendimento científico se ampliava, e, ampliando-se, novas máquinas podiam ser desenvolvidas. Parte disso pode ser observada na linha do tempo, que identifica mudanças no conceito de calor com a Revolução Industrial.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Na transformação I há uma expansão, ou seja, o gás realiza trabalho. Na transformação II, trata-se de uma compressão, e o ambiente é que realiza trabalho.
2. A energia interna é diretamente proporcional à temperatura absoluta (lei de Joule). Dessa forma, o recipiente *A* tem maior energia interna do que o recipiente *B*.
3. Como o gás foi aquecido, a energia interna do gás aumentou, e parte dela foi usada para mover o pistão para cima, realizando trabalho.
4. De acordo com a primeira lei, em um sistema termodinâmico isolado, há conservação de energia.

Em foco

1. A ingestão de alimentos fornece matéria e energia para o corpo funcionar. Durante a respiração celular, a quebra dos

macronutrientes libera calor metabólico, essencial para a manutenção da temperatura corporal.

2. Além de hidratar órgãos e tecidos, a água é fundamental na transpiração, fator determinante na redução da temperatura corpórea, mantendo-a em valores adequados.

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes consigam relacionar o papel de cada substância citada no texto, mencionando como elas se complementam e, em doses adequadas, contribuem para o correto funcionamento do corpo e, por consequência, para a saúde. Se necessário, faça a mediação das discussões de modo a promover um debate respeitoso entre os estudantes.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. Ao se disparar o extintor, o gás em alta pressão armazenado no interior do tubo é ejetado, expandindo-se subitamente no ambiente externo. Isso implica a realização de trabalho, o que ocorre à custa da energia interna do gás. Ao perder energia interna, o sistema esfria, notando-se a citada redução de temperatura do tubo do extintor. Deve-se considerar a 1ª lei da termodinâmica e que o processo é adiabático ($Q = 0$): $\Delta U = -\tau$. Ou seja, o gás realiza trabalho ($\tau > 0$) e sua energia interna diminui ($\Delta U < 0$), reduzindo a temperatura ($\Delta T < 0$).

2. Considerando a temperatura inicial de $27 + 273 = 300$ K, a temperatura final de $227 + 273 = 500$ K e que se trata de um gás monoatômico, a variação de energia interna do gás é:
$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8{,}31 \cdot (500 - 300)$
$\therefore \Delta U = 4.986$ J

3. $U = \frac{3}{2} p \cdot V \Rightarrow U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \therefore U = 600$ J

4. O trabalho durante a expansão isobárica é dado por:
$\tau = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau = 8{,}0 \cdot 10^5 \cdot 0{,}25 \therefore \tau = 2{,}0 \cdot 10^5$ J
Considerando que 1 cal = 4,0 J, então $500 \cdot 10^3$ J = $5{,}0 \cdot 10^5$ J. Assim, pela primeira lei da Termodinâmica, temos:
$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 5{,}0 \cdot 10^5 - 2{,}0 \cdot 10^5 \therefore \Delta U = 3{,}0 \cdot 10^5$ J

5. Na primeira situação, o sistema não realiza trabalho; portanto, todo o calor adicionado ao sistema será convertido em energia interna, que aumentará em 100 J. No segundo caso, o sistema realiza um trabalho de 40 J, de forma que a energia interna do sistema terá um aumento de 100 J – 40 J = 60 J.

6. Pela primeira lei da Termodinâmica:
$Q = \tau + \Delta U \Rightarrow 600 = 400 + \Delta U \therefore \Delta U = 200$ J
Portanto, a energia interna final do gás é:
$\Delta U = 200$ J $\Rightarrow U_{final} - 400$ J $= 200$ J $\therefore U_{final} = 600$ J

7. **a.** Como se trata de um processo isobárico, sabemos que o volume e a temperatura absoluta variam de forma diretamente proporcional. Portanto, se diminui o volume, a temperatura absoluta do gás ideal também diminui.
b. Sobre o gás. Dados os valores apresentados no enunciado, temos:
$\tau = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau = p \cdot A \cdot \Delta h \Rightarrow$
$\Rightarrow \tau = 10^5 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot (-7) \cdot 10^{-2} \therefore \tau = -17{,}5$ J

8. **a.** Pelo gráfico, sabe-se que se trata de uma transformação isobárica.
b. O trabalho durante a transformação isobárica é dado por:
$\tau = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau = 4 \cdot 10^5 \cdot (4.000 \cdot 10^{-6} - 9000 \cdot 10^{-6})$
$\therefore \tau = -2.000$ J
Sabe-se que o gás cedeu ao meio externo uma quantidade de calor $Q = -4.000$ J. Então, pela primeira lei da Termodinâmica, a variação da energia interna é dada por:
$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = -4.000 - (-2.000) \therefore \Delta U = -2.000$ J

9. Alternativa **c**. O trabalho realizado pelo gás do estado A para o estado B é numericamente igual à área abaixo da curva; portanto:
$\tau = (4 - 2) \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^6 +$
$+ \frac{(5 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^6) \cdot (6 - 4) \cdot 10^{-4}}{2} +$
$+ (8 - 6) \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^6 \Rightarrow$
$\Rightarrow \tau = 1.000 + 700 + 400 \therefore \tau = 2.100$ J $= 2{,}1$ kJ

10. **a.** O número de mols n do gás pode ser obtido aplicando-se ao ponto A a equação de Clapeyron:
$p_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A \Rightarrow 1{,}0 \cdot 10^6 \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-3} = n \cdot 8{,}3 \cdot 100$
$\therefore n = 10$ mol
b. Primeira lei de Charles e Gay-Lussac:
$\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_A}{T_A} \Rightarrow \frac{V_B}{400} = \frac{8{,}3 \cdot 10^{-3}}{100} \therefore 33{,}2 \cdot 10^{-3}$ m³
Na expansão isobárica, o trabalho trocado pelo gás pode ser calculado por:
$\tau_{AB} = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_B - V_A) \Rightarrow$
$\Rightarrow \tau_{AB} = 1{,}0 \cdot 10^6 \cdot (33{,}2 - 8{,}3) \cdot 10^{-3}$
$\therefore \tau_{AB} = 24{,}9 \cdot 10^3$ J $= 24{,}9$ kJ
c. Sendo o gás monoatômico, nessa expansão isobárica, a variação de sua energia interna fica determinada por:
$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} p \cdot \Delta V \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta U_{AB} = \frac{3}{2} \cdot 1{,}0 \cdot 10^6 \cdot (33{,}2 - 8{,}3) \cdot 10^{-3}$
$\therefore \Delta U_{AB} \simeq 37{,}4$ kJ
Pela primeira lei da Termodinâmica:
$\Delta U_{AB} = Q_{AB} - \tau_{AB} \Rightarrow 37{,}4 = Q_{AB} - 24{,}9 \therefore Q_{AB} = 62{,}3$ kJ

11. Alternativa **a**. A variação da energia interna ΔU, em função da variação da temperatura $\Delta T = T_{II} - T_I$, entre os estados I e II, é igual para as três transformações, que ocorrem entre T_I e T_{II}.
Assim: $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$
Os trabalhos W_A, W_B e W_C são calculados, numericamente, pelas áreas sob os gráficos da pressão P em função do volume V.
Por comparação das áreas, conclui-se que: $W_C > W_B > W_A$.

12. Alternativa **b**.
O trabalho total τ_{ABC} na transformação:
$Q_{ABC} = \tau_{ABC} + \Delta U_{ABC} \Rightarrow 1.400 = \tau_{ABC} + 300 \therefore \tau_{ABC} = 1.100$ J
O trabalho τ_{BC} no trecho AB:
$\tau_{BC} \overset{N}{=} A \Rightarrow \tau_{BC} = (5{,}0 - 3{,}0) \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \therefore \tau_{BC} = 600$ J
O trabalho τ_{AB} no trecho AB:
$\tau_{ABC} = \tau_{AB} + \tau_{BC} \Rightarrow 1.100$ J $= \tau_{AB} + 600$ J $\therefore \tau_{AB} = 500$ J

13. **a.** Por cálculo de áreas:
$\tau_{AB} \overset{N}{=} A_{AB} = (4 - 2) \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^4 \therefore \tau_{AB} = 600$ J
$\tau_{CD} \overset{N}{=} A_{CD} = (20 - 16) \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^4 \therefore \tau_{CD} = 2.000$ J
$\tau_{AB} + \tau_{BC} + \tau_{CD} = \tau_{total} \Rightarrow 600 + \tau_{BC} + 2.000 = 8.000$ J
$\therefore \tau_{BC} = 5.400$ J $= 5{,}4$ kJ
b. Pela equação de Clapeyron, as temperaturas do gás nos pontos A e D:
$p_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A \Rightarrow 30 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1{,}0 \cdot 8{,}0\ T_A$
$\therefore T_A = 75$ K

$p_D \cdot V_D = n \cdot R \cdot T_D \Rightarrow 50 \cdot 10^4 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 1{,}0 \cdot 8{,}0\ T_D$

$\therefore T_D = 1.250$ K

Cálculo da variação da energia interna do gás de *A* até *D*:

$\Delta U_{total} = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T_{AD} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta U_{total} = \frac{3}{2} 1{,}0 \cdot 8{,}0 \cdot (1.250 - 75) \therefore \Delta U_{total} = 14.100$ J

Pela primeira lei da Termodinâmica:

$\Delta U_{total} = Q_{total} - \tau_{total} \Rightarrow 14.100 = Q_{total} - 8.000$

$\therefore Q_{total} = 22.100$ J $= 22{,}1$ kJ

Capítulo 16 Transformações gasosas, ciclos termodinâmicos e entropia

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Realizar previsões sobre sistemas gasosos considerando os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento.
- Analisar e descrever as transformações ocorridas em sistemas térmicos por meio do entendimento dos conceitos de energia interna, calor trocado e trabalho realizado por uma máquina térmica.
- Analisar transformações e conservações em sistemas que envolvem quantidade de energia, principalmente em atividades cotidianas.
- Avaliar intervenções em sistemas térmicos considerando os efeitos da mudança nas variáveis termodinâmicas.
- Prever o funcionamento de motores elétricos considerando a eficiência energética.
- Interpretar o funcionamento de ciclos termodinâmicos com base em modelos científicos.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 6
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT101; EM13CNT102; EM13CNT107; EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT303

Sugestões didáticas

Com o estudo dos temas abordados nesse capítulo, será possível compreender o funcionamento de motores e o rendimento de máquinas térmicas. As discussões dessas temáticas favorecem o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT102**, ao realizar previsões sobre sistemas térmicos considerando os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre o seu funcionamento; **EM13CNT301**, ao analisar questões, elaborar hipóteses, previsões e interpretar modelos de sistemas térmicos e do funcionamento de ciclos termodinâmicos; **EM13CNT101**, permitindo que o estudante analise transformações e conservações em sistemas que envolvem quantidade de energia; e **EM13CNT102**, ao permitir realizar previsões e avaliar intervenções em sistemas térmicos.

Para ampliar a discussão sobre a história da Ciência no que diz respeito à elaboração da primeira lei da Termodinâmica, indicamos a referência suplementar PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da Termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 31, n. 3, São Paulo, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/jxtswrDG3qGSLpjmjsCPwzs/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 3 nov. 2024. Esse texto apresenta uma análise das diferentes formulações da primeira lei da Termodinâmica, resgatando informações históricas que poderão enriquecer a discussão. Essa abordagem valoriza a compreensão dos contextos históricos e das contribuições de diversos cientistas, trabalhando a **competência geral 1**, ao analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais.

Em relação à segunda lei da Termodinâmica, a seção **Em foco** aborda a evolução histórica das máquinas térmicas, bem como sua relação com o avanço das emissões de gases poluentes e o uso de combustíveis fósseis.

A discussão sobre rendimento e eficiência das máquinas térmicas favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT107**, pois permite ao estudante realizar previsões sobre o funcionamento de motores elétricos considerando a eficiência energética.

Comente que todo processo que ocorre na natureza de forma espontânea é um processo irreversível, e mesmo aqueles que ocorrem de forma induzida também o são, pois sempre haverá alguma perda de energia útil em forma de calor dissipado. Para um sistema ser considerado reversível, a variação de calor e temperatura deve ser mínima, resultando em variações mínimas com a sua vizinhança, mantendo-se praticamente em equilíbrio térmico.

Para finalizar, sugira aos estudantes que pesquisem o que é a teoria da morte térmica do Universo e faça uma discussão sobre o tema. Com essa atividade será possível desenvolver a **competência geral 2**, pois ela se propõe a exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Quando pelo menos uma das suas variáveis de estado (temperatura, volume e pressão) varia.

2. O gráfico *A* representa uma transformação isotérmica, na qual a temperatura é constante. O gráfico *B* representa uma transformação isobárica, na qual a pressão se mantém constante. O gráfico *C* apresenta uma transformação isovolumétrica, na qual o volume permanece constante.

3. Alternativa **a**.

Da equação de Clapeyron: $nRT = pV$

$\frac{nRT_A}{nRT_C} = \frac{p_A V_A}{p_C V_C} \Rightarrow \frac{T_A}{T_C} = \frac{4ab}{a5b} \Rightarrow \frac{T_A}{T_C} = \frac{4}{5}$

O gás só realiza trabalho na expansão isobárica $A \rightarrow B$. No resfriamento isométrico $B \rightarrow C$, o trabalho é nulo.

$\tau_{ABC} \overset{N}{=} A_{p \times V} = (56 - 6) \cdot 4a \therefore \tau_{ABC} = 16ab$

4. O trabalho de uma expansão isobárica é dado por $\tau = p \cdot \Delta V$, onde ΔV é a variação do volume:

$\Delta V = V_f - V_i = (4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 10^{-3}$ m³

Logo, o trabalho realizado:

$\tau = p \cdot \Delta V \Rightarrow \tau = (10^5) \cdot (2 \cdot 10^{-3}) \therefore \tau = 200$ J

5. **a.** Transformação isobárica (pressão constante).

b. Transformação isovolumétrica (volume constante).

c. Transformação isotérmica. Como descrito no enunciado, o arco é uma hipérbole equilátera, que está relacionada à transformação isotérmica.

6. a. $A \rightarrow B$: isobárica (pressão constante)

$B \rightarrow C$: isométrica (volume constante)

$C \rightarrow D$: isobárica (pressão constante)

$D \rightarrow A$: isométrica (volume constante)

b. Aplicando-se a equação de Clapeyron considerando A e C os estados inicial e final, respectivamente:

$$\frac{nRT_C}{nRT_A} = \frac{P_C V_C}{P_A V_A} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{nRT_C}{nR \cdot 900} = \frac{1{,}5 \cdot 10^5 \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-3}}{4{,}5 \cdot 10^5 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-3}} \therefore T_C = 1.200 \text{ K}$$

c. O trabalho é calculado numericamente pela área interna do ciclo:

$$\tau \overset{N}{=} A_{p \times V} = (8{,}0 - 2{,}0) \cdot 10^{-3} \cdot (4{,}5 - 1{,}5) \cdot 10^5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau = 6{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}0 \cdot 10^5 \therefore \tau = 1{,}8 \text{ kJ}$$

A variação de energia interna ao percorrer inteiramente o ciclo é nula ($\Delta U = 0$), já que o gás retorna às condições iniciais e a variação de temperatura é zero.

7. Em relação às variáveis de estado pressão, volume e temperatura, um ciclo termodinâmico é realizado quando essas variáveis, em seu estado inicial, coincidem novamente com as do estado final.

8. No caso de os reservatórios estarem à mesma temperatura, o rendimento seria nulo. Se a fonte fria estivesse a 0 K, o que é fisicamente impossível, o rendimento seria 1 (ou 100%).

9. O rendimento máximo possível pode ser calculado com base no rendimento do ciclo de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{270}{2.700} \therefore \eta = 0{,}9 = 90\%$$

10. A segunda lei da Termodinâmica diz que, em um sistema isolado, o calor deve fluir sempre do corpo quente para o corpo frio. No caso do ar-condicionado, há um trabalho realizado para inverter esse fluxo. Portanto, não se trata de um sistema isolado.

11. Apenas a III está correta.

I. Incorreta. A energia interna aumenta devido ao aumento da temperatura.

II. Incorreta. Na expansão isotérmica o gás retira calor da fonte quente.

IV. Incorreta. Na compressão isotérmica, o trabalho é negativo, pois há diminuição do volume.

V. Incorreta. Durante um processo isotérmico, a temperatura do gás se mantém constante e, portanto, a variação de energia interna do gás é nula.

12. A entropia do Universo está aumentando. Desde o Big Bang, o Universo passou por uma expansão e resfriamento significativos, com uma queda de temperatura muito acentuada. Nesse processo, a matéria e a radiação se dispersaram, o que levou a um aumento na entropia total do Universo.

Em foco

1. A transformação mais rápida é a adiabática que, por seu breve tempo de realização, não permite trocas de calor do fluido com o ambiente externo.

2. Espera-se que os estudantes citem exemplos como o etanol e o biodiesel, apontando como possíveis vantagens a redução de emissão de gases de efeito estufa, menor dependência de fontes fósseis e possibilidade de utilizar resíduos como matéria-prima, promovendo uma economia circular. Como desvantagens, espera-se que sejam destacados a competição com a produção de alimentos e os custos elevados de produção.

3. Espera-se que os estudantes identifiquem exemplos como painéis solares fotovoltaicos, turbinas eólicas, veículos elétricos, construções verdes, tecnologias de armazenamento de energia, entre outros.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. Conforme a primeira lei da Termodinâmica:

$Q = \tau + \Delta U \Rightarrow 1.000 = \tau + 360 \therefore \tau = 640$ J

O trabalho total realizado pelo gás na expansão ABC pode ser assim expresso:

$\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC}$

Em um diagrama pV, a área sob a curva é numericamente igual ao trabalho:

$\tau = \tau_{AB} + A_{BC} \Rightarrow \tau_{AB} = \tau - A_{BC} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{AB} = 640 - (0{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}0 \cdot 10^5) \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{AB} = 640 - 270 \therefore \tau_{AB} = 370$ J

2. a. Pela equação de Clapeyron, em A:

$$(pV)_A = nRT_A \Rightarrow 2{,}0 \cdot 10^5 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-3} = nRT_A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_A = \frac{4{,}0 \cdot 10^2}{nR}$$

Em B:

$$(pV)_B = nRT_B \Rightarrow 5{,}0 \cdot 10^5 \cdot 6{,}0 \cdot 10^{-3} = nRT_B \Rightarrow$$

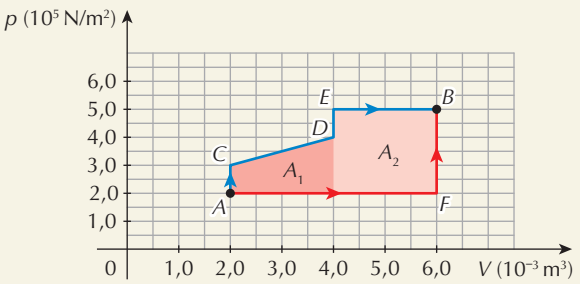
$$\Rightarrow T_B = \frac{30{,}0 \cdot 10^2}{nR}$$

Dividindo-se as equações:

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{\frac{30{,}0 \cdot 10^2}{nR}}{\frac{4{,}0 \cdot 10^2}{nR}} \Rightarrow \frac{T_B}{T_A} = 7{,}5$$

b. Pelos dois caminhos, o gás sofre a mesma variação de energia interna, ou seja: $\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U$. A quantidade de calor em cada transformação é dada por $Q_1 = \tau_1 + \Delta U$ e $Q_2 = \tau_2 + \Delta U$. A diferença é dada por $Q_1 - Q_2 = \tau_1 - \tau_2$ e pode ser calculada por meio das diferenças entre as áreas:

$\tau_1 - \tau_2 \overset{N}{=} A_{p \times V} = A_1 + A_2$



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

$$\tau_1 - \tau_2 = \frac{(2{,}0 \cdot 10^5 + 1{,}0 \cdot 10^{-3})}{2} + 3{,}0 \cdot 10^5 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \tau_1 - \tau_2 = 3{,}0 \cdot 10^2 + 6{,}0 \cdot 10^2 \therefore \tau_1 - \tau_2 = 9{,}0 \cdot 10^2$ J

Logo: $Q_1 - Q_2 = 9{,}0 \cdot 10^2$ J

3. Alternativa **d**. O trabalho realizado pelo motor em cada ciclo, τ_{ciclo}, pode ser determinado numericamente pela área interna do ciclo.

$$\tau_{ciclo} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot (p_2 - p_1)}{2} + \frac{(V_3 - V_2) \cdot (p_2 - p_1)}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_{ciclo} = \frac{p_2 - p_1}{2} \cdot (V_2 - V_1 + V_3 - V_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_{ciclo} = \frac{(V_3 - V_1) \cdot (p_2 - p_1)}{2}$$

A potência fornecida pelo motor, $Pot_{forn.}$, pode ser determinada dividindo-se o τ_{ciclo} pelo intervalo de tempo T gasto na realização de cada ciclo.

$$Pot_{forn.} = \frac{(V_3 - V_1) \cdot (p_2 - p_1)}{2T}$$

4. Alternativa **e**. Incorreta. $T_1 < T_2$: quanto mais afastada dos eixos pV estiver a hipérbole isotérmica, maior será a temperatura associada a ela.

5. Alternativa **e**. O rendimento da máquina térmica ideal de Carnot fica determinado por:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_B}{T_A} \Rightarrow \eta_C = 1 - \frac{\frac{T}{4}}{T} \Rightarrow \eta_C = \frac{3}{4}$$

O trabalho realizado pela máquina ideal de Carnot:

$$\eta_C = \frac{\tau}{Q} \Rightarrow \frac{3}{4} = \frac{\tau}{Q} \Rightarrow \tau = \frac{3}{4}Q$$

A máquina térmica real mencionada no enunciado tem rendimento η_M:

$$\eta_M = \frac{1}{3}\eta_C \Rightarrow \eta_M = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \Rightarrow \eta_M = \frac{1}{4}$$

Sendo Q_M a quantidade total de calor recebida pela máquina real para realizar o mesmo trabalho que o da máquina ideal de Carnot, tem-se que:

$$\eta_M = \frac{\tau}{Q_M} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{\frac{3}{4}Q}{Q_M} \Rightarrow Q_M = 3Q$$

6. **a.** O rendimento da máquina ideal de Carnot é calculado por:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \eta_C = 1 - \frac{300}{1.200} \Rightarrow \eta_C = 1 - \frac{1}{4} \therefore \eta_C = \frac{3}{4}$$

$$\eta = 40\% \cdot \eta_C = 0{,}40 \cdot \frac{3}{4} \therefore \eta = 0{,}30 = 30\%$$

Calculado o rendimento do motor, determina-se o trabalho realizado:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_{recebido}} \Rightarrow 0{,}30 = \frac{\tau}{6.000} \therefore \tau = 1.800 \text{ J}$$

b. A quantidade de calor rejeitada fica determinada por:

$$Q_{recebido} = \tau + Q_{rejeitado} \Rightarrow 6.000 = 1.800 + Q_{rejeitado}$$

$$\therefore Q_{rejeitado} = 4.200 \text{ J}$$

7. Alternativa **e**. $(pV)_A = (pV)_B = (pV)_C$. Isso significa que, pela equação de Clapeyron, $pV = nRT$, sendo n e R constantes, tem-se que $T_A = T_B = T_C$.

8. **a.** O trabalho é realizado pelo gás, pois o ciclo é horário.

b. O trabalho total é numericamente igual à área interna do ciclo. Assim, podemos calcular:

$$\tau = \frac{6V - V}{4p - p} = \frac{5V}{3p} \Rightarrow \tau = 15pV_f$$

9. Alternativa **b**. A consideração física sobre a impossibilidade de uma máquina térmica obter 100% do rendimento está relacionada com a segunda lei da Termodinâmica. Essa lei diz que a entropia de um sistema isolado deve sempre aumentar.

10. Aumenta, já que o sistema parte de um estado inicial organizado, típico do estado sólido, para um estado menos organizado, típico do estado líquido. Ocorre, portanto, um aumento na desordem das partículas do sistema, implicando um aumento de entropia.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha aos estudantes que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo dessa unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. As atividades propostas nos capítulos podem ser usadas para avaliação formativa, como acompanhamento das aprendizagens e como subsídio para as intervenções necessárias. A seção **Atividades de fechamento** visa avaliar a aprendizagem dos principais conteúdos abordados, incluindo atividades de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Educação midiática

Nesta seção, vamos explorar a história, o desenvolvimento e o funcionamento das redes de internet, analisando os seus impactos e as mudanças na sociedade com a popularização da internet. O estudo do tema explora o **TCT Ciência e Tecnologia**.

Para iniciar, proponha que os estudantes reflitam e discutam, em grupos, as questões iniciais propostas. Essa atividade visa acessar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o funcionamento da internet e seus impactos na vida cotidiana.

Na etapa seguinte, de **Ampliação de repertório**, os estudantes devem realizar pesquisas sobre o tema, buscando informações sobre como a internet foi desenvolvida e como ela funciona atualmente. Outro aspecto importante a ser investigado é a relação entre os conceitos de Física e sua contribuição para o desenvolvimento de máquinas e redes virtuais mais eficientes. A pesquisa pode ser complementada com a consulta de documentos oficiais, livros e documentários que discutem o tema. Esta etapa promove o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT303**, ao propor que os estudantes interpretem textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza disponíveis em diferentes mídias, e **EM13CO07** (Compreender as diferentes tecnologias, bem como equipamentos, protocolos e serviços envolvidos no funcionamento de redes de computadores, identificando suas possibilidades de escala e confiabilidade.), ao explorar a compreensão das diferentes tecnologias, equipamentos, protocolos e serviços envolvidos no funcionamento das redes de computadores.

Os registros dessa pesquisa podem ser feitos por meio de relatórios, resumos, mapas conceituais ou painéis (físicos ou digitais), que permitam o compartilhamento das informações.

A **Produção de conteúdo** consiste na elaboração de um guia informativo sobre o desenvolvimento da internet, as mudanças sociais resultantes desse meio de comunicação e seu impacto no dia a dia das pessoas. Os estudantes podem elaborar esse material em formato digital ou impresso, utilizando texto, esquemas e/ou ilustrações. Nesta etapa também pode ser explorado o projeto gráfico do guia, planejado e escolhido previamente pelos estudantes. Essa atividade possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT302**, ao propor que os estudantes comuniquem os resultados de suas pesquisas de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos, e **EM13LP34**, ao desenvolver a produção de textos para a divulgação do conhecimento e de resultados de levantamentos e pesquisas, de forma a engajar os estudantes em processos significativos de socialização e divulgação do conhecimento.

A **Autoavaliação** é um processo que aumenta a autonomia do estudante, ajudando-o a identificar pontos de melhoria em seu aprendizado. As rubricas correspondem a uma possibilidade de organizar e estabelecer alguns parâmetros para facilitar a reflexão dos estudantes a respeito dos critérios utilizados no processo. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante para cada um dos critérios sugeridos.

UNIDADE 5 SAÚDE HUMANA

Garantir a saúde e o bem-estar ao longo da vida é essencial para assegurar qualidade de vida e prevenir a mortalidade precoce. O diagnóstico precoce aumenta as chances de tratamentos eficazes. Tecnologias como raios X, tomografias e ultrassonografias desempenham um papel vital na detecção e prevenção de doenças, como problemas vasculares e tipos variados de câncer.

Nesta unidade, exploraremos temas como óptica, ondas sonoras e radioatividade. Esses conceitos não só fundamentam práticas diagnósticas essenciais na Medicina, como também promovem a reflexão sobre o uso consciente e sustentável das tecnologias de saúde, que são importantes para assegurar o bem-estar para todos, o que está relacionado ao **ODS 3** (Saúde e bem-estar).

Se possível, consulte as aberturas das unidades 5 dos volumes de Biologia e de Química desta coleção e faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

1. Espera-se que os estudantes façam referências a lentes ou ampliação, mas pode ser que eles não detalhem o funcionamento com as múltiplas lentes, dependendo de seus conhecimentos prévios sobre Óptica geométrica. Incentive-os a expressar suas ideias sobre as funções do microscópio, como a visualização de células e organismos. Os estudantes podem trazer exemplos do cotidiano, como experiências escolares em laboratórios, que os ajudarão a conectar o conceito à prática.
2. Espera-se que os estudantes indiquem a existência de ondas que fazem a comunicação entre os equipamentos e mencionem ondas de rádio e televisão como exemplos. Espera-se que eles identifiquem ondas sonoras e ondas eletromagnéticas e que façam a distinção entre elas.
3. Espera-se que relacionem o formato dos instrumentos ou o material do qual são feitos à diferença de percepção. Pergunte sobre suas experiências em concertos e se tocam algum instrumento musical. Isso pode ajudar a desenvolver um interesse inicial no estudo da Acústica.
4. Espera-se que relacionem os raios X ao exame médico e os raios gama à radioterapia. Incentive os estudantes a refletirem sobre os motivos de os técnicos deixarem os pacientes sozinhos na sala antes de iniciar o exame, a fim de abordar os impactos das radiações ionizantes na saúde humana.

Capítulo 17 Óptica geométrica e instrumentos ópticos

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término desse capítulo, o estudante seja capaz de:

- Descrever como se dá o processo de propagação da luz, de modo a compreender os princípios da Óptica geométrica.
- Identificar as principais características dos fenômenos de reflexão e refração da luz, bem como os aspectos que os diferenciam.
- Representar esquematicamente raios luminosos incidentes em espelhos e lentes, de modo a identificar as características da imagem formada em cada caso.
- Descrever o funcionamento de instrumentos ópticos, a fim de compreender seus princípios de funcionamento com base nos elementos da Óptica geométrica.
- Analisar questões, elaborar hipóteses e previsões usando conceitos de Óptica geométrica, além de interpretar dados para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica.
- Analisar o funcionamento de instrumentos ópticos para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar os seus impactos sociais.

Por dentro da BNCC

- **Competência geral:** 7
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301; EM13CNT307; EM13CNT310

Sugestões didáticas

As abordagens propostas às temáticas desenvolvidas no capítulo favorecem o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301**, ao tratar dos conceitos de Óptica geométrica para a análise de questões e elaboração de hipóteses e previsões, além da interpretação de dados para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica, e **EM13CNT307**, ao propor que os estudantes procurem exemplos, em que poderão analisar as propriedades ópticas de materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas.

A seção **Atividade comentada** propõe a análise e a resolução de problema envolvendo a formação de imagens em um espelho plano. As etapas da resolução estimulam os estudantes a exercitar os pilares do pensamento computacional em uma sequência que propõe a decomposição do problema e a abstração, etapas que visam ampliar a compreensão do problema.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

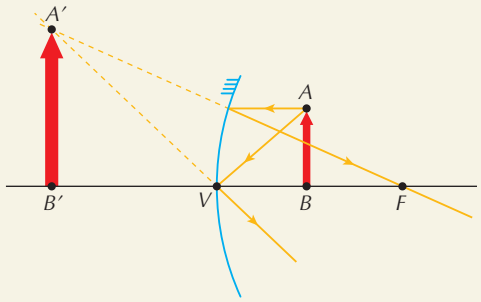
1. Não, a Lua não pode ser considerada uma fonte primária de luz porque ela não possui luz própria. Na verdade, ela é uma fonte de luz secundária, pois a luz proveniente do seu "brilho" é uma reflexão da luz solar.
2. O que diferencia os meios de propagação é a quantidade de luz que atravessa cada um deles; assim, o meio transparente permite maior passagem de luz e o opaco não permite a passagem de luz.
3. A imagem formada em um espelho plano é simétrica do objeto em relação à superfície refletora. Espera-se que os

estudantes sejam capazes de demonstrar a relação de simetria por meio de um esquema.

4. A superfície interna da colher descrita pode ser comparada a um espelho esférico côncavo, enquanto a superfície externa da colher pode ser comparada a um espelho convexo.

5. Como a imagem é virtual, direita e maior que a pessoa, o espelho é côncavo.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



6. **a.** A distância focal do espelho é negativa (foco virtual):

$f = -\frac{R}{2} \Rightarrow f = -\frac{9{,}0}{2} \therefore f = -4{,}5 \text{ m}$

Pela equação de Gauss:

$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{9{,}0} + \frac{1}{p'} = -\frac{1}{4{,}5} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{1}{p'} = -\frac{1}{4{,}5} - \frac{1}{9{,}0} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{-2-1}{9{,}0} = -\frac{3}{9{,}0}$

$\therefore p' = -3{,}0 \text{ m}$

Como $p' < 0$, a imagem é virtual.

$d = |p'| = 3{,}0 \text{ m}$

b. Cálculo do aumento linear transversal:

$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = \frac{(-3{,}0)}{9{,}0} \therefore A = \frac{1}{3}$

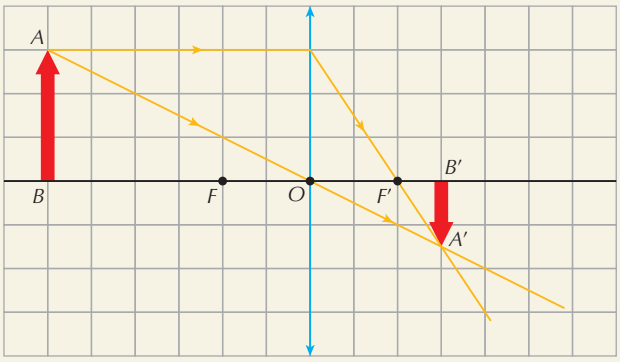
Como $A > 0$, a imagem é direita e, como $|A| < 1$, a imagem é menor que o objeto.

7. Quando o raio de luz atravessa obliquamente do meio mais refringente para o meio menos refringente, ele se afasta da reta normal, de forma que o ângulo de refração é maior do que o ângulo de incidência, e a intensidade da velocidade aumenta. Quando o raio de luz parte obliquamente de um meio menos refringente para o meio mais refringente, ele se aproxima da reta normal, de forma que o ângulo de refração é menor do que o ângulo de incidência, e a intensidade de sua velocidade diminui.

8. Alternativa **c**. Seja α o ângulo de refração da luz, formado entre o raio refratado para o interior do líquido e a reta normal à interface dióptrica no ponto de incidência. Tendo-se em conta o triângulo retângulo pitagórico presente no esquema dado, de catetos medindo 6 unidades e 8 unidades e a hipotenusa medindo 10 unidades, aplicando-se a lei de Snell, segue-se que:

$n_L \operatorname{sen} \alpha = n_{ar} \operatorname{sen} \theta \Rightarrow n_L \cdot \frac{6}{10} = 1{,}0 \cdot 0{,}8 \Rightarrow n_L = \frac{8}{6} \simeq 1{,}3$

9. A imagem obtida será real, invertida e menor do que o objeto.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

10. Considerando a ampliação, a distância da imagem formada é:

$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow 5 = -\frac{p'}{20} \Rightarrow p' = -100 \text{ cm}$

Equação de Gauss:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} - \frac{1}{100} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{5-1}{100} = \frac{4}{100} \therefore f = 25 \text{ cm}$

Em foco

A seção possibilita que os estudantes argumentem com base em fatos para tomar decisões que promovam os direitos humanos, desenvolvendo a **competência geral 7**, ao discutir o uso das fibras ópticas na infraestrutura de comunicação e aspectos sobre as desigualdades relacionadas ao acesso à internet no Brasil. Nessa seção, podem ser explorados os **ODS 9** (Indústria, inovação e infraestrutura) e **10** (Redução das desigualdades) ao demonstrar a necessidade de inovações tecnológicas que sejam sustentáveis a fim de reduzir a desigualdade entre países, além do **TCT Ciência e tecnologia** quando aborda a relação entre o funcionamento das fibras ópticas e como o conhecimento científico auxilia no desenvolvimento tecnológico.

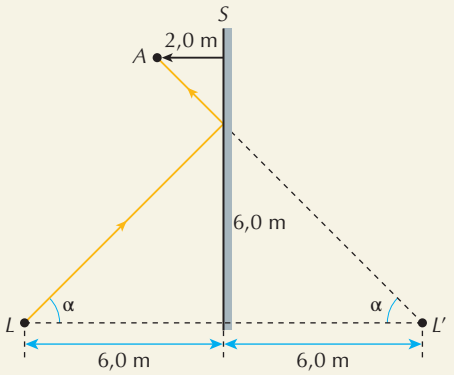
1. Enviar informações de um ponto a outro por meio de múltiplas reflexões totais da luz em seu interior.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes apontem aspectos como a extensão territorial, a qualidade na distribuição do sinal e o custo de instalação dessa tecnologia, por exemplo.

3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes apontem que a falta de acesso da população à internet é um importante fator de aprofundamento das desigualdades e pode impedir o acesso a direitos básicos, como à educação, por exemplo.

Atividades de fechamento

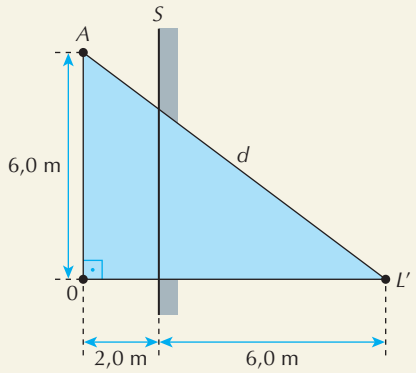
1. **a.** Nota-se que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência (segunda lei da reflexão) e que L' é simétrico de L em relação à superfície refletora.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA

b. A distância percorrida pelo raio luminoso é equivalente ao comprimento d indicado na figura.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



Pelo teorema de Pitágoras, considerando o triângulo retângulo destacado, tem-se:

$d^2 = (6,0)^2 + (8,0)^2 \therefore d = 10$ m

2. a. Pela equação de Gauss, tem-se:

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{50} + \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{40} - \frac{1}{50} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{5-4}{200} \therefore p'_1 = 200 \text{ cm} = 2 \text{ m}$$

Assim: $d_1 = |p'_1| = 2$ m

O aumento linear transversal fica determinado por:

$$A_1 = -\frac{p'_1}{p_1} \Rightarrow A_1 = -\frac{200}{50} \therefore A_1 = -4$$

$p'_1 > 0$: imagem real; $A_1 < 0$: imagem invertida;

$|A_1| > 1$: imagem maior que o objeto

b. Aplicando-se a equação de Gauss:

$$\frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{30} + \frac{1}{p'_2} = \frac{1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'_2} = \frac{1}{40} - \frac{1}{30} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p'_1} = \frac{3-4}{120} \therefore p'_2 = -120 \text{ cm} = -1,2 \text{ m}$$

Assim: $d_2 = |p'_2| = 1,2$ m

O aumento linear transversal fica determinado por:

$$A_2 = -\frac{p'_2}{p_2} \Rightarrow A_2 = -\frac{-120}{30} \therefore A_2 = 4$$

$p'_2 < 0$: imagem virtual; $A_2 > 0$: imagem direita;

$|A_2| > 1$: imagem maior que o objeto

3. Se o feixe emergente do sistema é perpendicular à superfície líquida, ao se propagar dentro do líquido, o feixe intercepta o eixo principal do espelho côncavo em seu foco principal.

A distância focal f do espelho côncavo é dada por:

$$f = \frac{R}{2} \Rightarrow f = \frac{6,0}{2} \therefore f = 3,0 \text{ cm}$$

O comprimento AF é dado pelo teorema de Pitágoras:

$(AF)^2 = (AB)^2 + (FB)^2 \Rightarrow (AF)^2 = (6,0)^2 + (8,0)^2$

$\therefore AF = 10,0$ cm

Determinação de sen r:

$$\text{sen } r = \frac{AB}{AF} \Rightarrow \text{sen } r = \frac{6,0}{10,0} \Rightarrow \text{sen } r = 0,60$$

Da lei de Snell-Descartes, para a refração de entrada do feixe *laser*, temos:

$n_L \cdot \text{sen } r = n_{Ar} \cdot \text{sen } \theta \Rightarrow n_L \cdot 0,60 = 1,00 \cdot 0,75 \Rightarrow n_L = 1,25$

4. Nesse caso, o ângulo de incidência da luz na interface núcleo-casca é o ângulo-limite L do dioptro.

$$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{n_{casca}}{n_{núcleo}} \Rightarrow \text{sen } L = \frac{1,2}{1,5} = 0,8 \therefore L = 53°$$

No triângulo retângulo destacado:

$\beta + L = 90° \Rightarrow \beta + 53° = 90° \therefore \beta = 37°$

Aplicando-se a lei de Snell à refração de entrada da luz na fibra óptica:

$n_{ar} \cdot \text{sen } \alpha = n_{núcleo} \cdot \text{sen } \beta \Rightarrow$

$\Rightarrow 1,0 \cdot \text{sen } \alpha = 1,5 \cdot \text{sen } 37° \Rightarrow \text{sen } \alpha = 1,5 \cdot 0,6 \Rightarrow$

$\Rightarrow \text{sen } \alpha = 0,9 \Rightarrow \alpha = \text{arc sen } (0,9) \therefore \alpha \simeq 64°$

5. Alternativa **e**. Do enunciado, tem-se que o ângulo-limite L do dioptro prisma-ar é 42°, logo:

$$\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}} = \frac{n_{ar}}{n_{prisma}}$$

Sendo sen L = sen 42° = 0,67 $\simeq \frac{2}{3}$ e $n_{ar} = 1,0$, temos:

$$\frac{2}{3} = \frac{1,0}{n_{prisma}} \Rightarrow n_{prisma} = \frac{3}{2} \Rightarrow n_{prisma} = 1,50$$

6. Do enunciado:

$p + p' = 100 \Rightarrow p' = 100 - p$ (1)

Da equação de Gauss:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{16} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), temos:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{100-p} = \frac{1}{16} \Rightarrow \frac{100-p+p}{p(100-p)} = \frac{1}{16} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1.600 = 100p + p^2 \Rightarrow p^2 - 100p + 1.600 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \frac{100 \pm \sqrt{10.000 - 6.400}}{2} \Rightarrow p = \frac{100 \pm \sqrt{3.600}}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \frac{100 \pm 60}{2}$$

Da qual: $p_1 = 20$ cm e $p_2 = 80$ cm.

7. Alternativa **a**.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{20} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{3-2}{60} \therefore p' = 60 \text{ cm}$$

A distância x entre I_1 e E é dada por:

$x = 80 - p' \Rightarrow x = 80 - 60 \therefore x = 20$ cm

A imagem I_2 dada por E é simétrica de I_1 em relação à superfície refletora do espelho plano. Assim, a distância d entre O e I_2 fica determinada por:

$d = 30 + 80 + 20 \therefore d = 130$ cm ou $d = 1,3$ m

Capítulo 18 Ondas

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Reconhecer as características das ondas, suas grandezas associadas e os fenômenos decorrentes da interação da onda com a matéria.
- Identificar fenômenos ondulatórios em aplicações cotidianas e/ou tecnológicas.
- Elaborar hipóteses por meio do entendimento dos movimentos periódicos e das características das ondas para elaborar conclusões a respeito de situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.
- Analisar propriedades de meios materiais para adequá-los ao uso em aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais**: 2; 5
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias**: EM13CNT301; EM13CNT307

Sugestões didáticas

A observação do movimento periódico de um pêndulo pode ser uma proposta interessante para mobilizar a habilidade **EM13CNT301**, pois permite analisar questões e elaborar hipóteses por meio do entendimento dos movimentos periódicos para obter conclusões a respeito de situações-problema, e também trabalha o desenvolvimento da **competência geral 2**, pois possibilita exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas. Proponha aos estudantes que verifiquem se o período de oscilação de um pêndulo independe da massa pendular, mas depende do comprimento do fio.

Para analisar as características das ondas os estudantes podem utilizar simuladores. Sugerimos a referência suplementar PHET SIMULAÇÕES INTERATIVAS. Ondas: Intro. Universidade do Colorado. 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/waves-intro/about. Acesso em: 2 out. 2024. Ao manipular os três tipos de onda (água, som e luz), os estudantes devem observar como as ondas se comportam diante da variação da frequência e da amplitude. A observação do comportamento de diferentes ondas em relação a sua frequência e amplitude desenvolve a habilidade **EM13CNT301**. Além disso, também mobiliza as **competências gerais 2** e **5**, pois possibilita exercitar a investigação, a reflexão e a análise crítica para investigar causas e resolver problemas, além de trabalhar com a compreensão e utilização de tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica.

A seção **Em foco** apresenta um texto sobre os sismos, que se propagam como ondas, e sua ocorrência na superfície do planeta, que podem causar terremotos. A atividade propõe, ainda, uma reflexão sobre os desastres causados por sismos e outros fenômenos naturais que, anualmente, afetam a vida de milhares de pessoas. Essa discussão está relacionada ao **ODS 11** (Cidades e comunidades sustentáveis). O tema pode ser abordado de forma interdisciplinar com a Geografia.

Nas atividades propostas no **Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**, o estudo de fenômenos ondulatórios observados no dia a dia mobiliza a habilidade **EM13CNT307**, uma vez que possibilita a análise das propriedades de meios materiais para adequá-los ao uso em aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas. Além disso, ao exemplificar aplicações dos fenômenos ondulatórios em aparelhos tecnológicos e na indústria, os estudantes desenvolvem a habilidade **EM13CNT307**.

Atividade complementar

Imagens 3-D

Para a atividade complementar, sugira o estudo de caso a seguir.

> Rafaela é uma jovem que sempre gostou de ir ao cinema, assistir a filmes dos mais variados gêneros. Desde a invenção dos filmes 3-D, Rafaela já assistiu a alguns, algumas vezes sozinha e em outras com amigos, inclusive em salas de cinema diferentes, e acabou percebendo um problema que acometia somente a ela: Rafaela não enxerga os objetos do filme em três dimensões.
>
> Intrigada com a situação, Rafaela escreveu para seus dois primos, sendo que um deles é biólogo e o outro é físico. Ela acredita que ambos poderão ajudá-la a compreender o que a impede de enxergar os filmes em 3-D, unindo os conhecimentos a respeito do funcionamento dos olhos para a formação de imagens em três dimensões.
>
> Não bastando essa dificuldade, Rafaela está interessada em adquirir uma TV 3-D, em que os fabricantes afirmam que não é necessário o uso de óculos, pois seu princípio de funcionamento seria a formação de imagens tridimensionais holográficas. No entanto, antes de comprar a tal TV, Rafaela gostaria de entender por que não enxerga as imagens 3-D nos cinemas. Será que conseguiria ou não enxergar a imagem em 3-D nessas TVs, que não utilizam os óculos 3-D?
>
> Como os primos de Rafaela estão bastante ocupados com suas pesquisas, eles indicaram um grupo de pessoas competentes para resolver tais questões, do qual vocês fazem parte.
>
> Por isso, vocês devem escrever uma carta para Rafaela, explicando por que, possivelmente, ela não enxerga as imagens em 3-D e detalhando como funcionam esses aparelhos de TV que geram a imagem 3-D sem o uso de óculos. Ao final, não deixem de dar um parecer a ela: Rafaela enxergaria as imagens 3-D nesses novos aparelhos?
>
> **Fonte:** HAMANN, R. Por que nem todas as pessoas conseguem enxergar imagens em 3D? **Tecmundo**, 30 ago. 2016. Disponível em: https://www.tecmundo.com.br/curiosidade/9160-por-que-nem-todos-enxergam-imagensem-3d-.htm. Acesso em: 2 out. 2024.

A formação da imagem 3-D acontece porque os óculos têm polarizações diferentes, o que faz com que em cada um dos olhos se formem imagens diferentes, que serão "unidas" no cérebro e darão a impressão de profundidade, por isso são chamadas de 3-D. É provável que Rafaela tenha uma disfunção relacionada a uma dificuldade em realizar a fusão binocular, isto é, unir no cérebro imagens diferentes mas simultâneas que cada olho enxerga. Para ter certeza de seu problema, o ideal seria que ela procurasse um oftalmologista para verificar se apresenta outros sintomas, como a perda de noções de profundidade e também a redução na angulação total do campo de visão natural, que podem variar de acordo com o grau de sua disfunção. As imagens tridimensionais holográficas são geradas por holografia, uma técnica que não depende da fusão binocular. Nesse caso, as imagens são gravadas por meio de feixes de *laser*, que incidem por diferentes ângulos sobre uma pessoa.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Alternativa **a**. Para pequenas oscilações (pêndulo simples), o período (T) do pêndulo é dado pela expressão:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

em que L é o comprimento da haste do pêndulo e g é o módulo da aceleração da gravidade. Sendo g constante, para manter o período T constante, o comprimento L da haste do pêndulo deverá ser constante. Observe que T independe da massa do corpo suspenso.

2. Usando a expressão do período do pêndulo simples, podemos concluir que a dilação térmica provocará aumento de L e, consequentemente, de T. Com isso, o pêndulo vai demorar mais para realizar uma oscilação completa e o relógio atrasará.

3. **I.** Correta. A luz solar é uma forma de radiação eletromagnética que se propaga no espaço em forma de ondas. Na luz solar estão contidos diferentes comprimentos de ondas como a luz visível, as radiações infravermelha (IR) e ultravioleta (UV).

II. Correta. A amplitude representa a máxima distância que a partícula do meio de propagação se afasta da posição de equilíbrio.

III. Correta. Em ondas mecânicas, como ondas em uma corda, a energia transportada pela onda é proporcional ao quadrado da amplitude; portanto, a amplitude nos dá a informação sobre maior ou menor quantidade de energia transportada.

IV. Incorreta. A equação que relaciona velocidade, período e comprimento de onda é $v = \frac{\lambda}{T}$, logo a afirmação correta seria: a intensidade da velocidade de propagação da onda é dada pela razão entre o comprimento de onda e o período.

V. Incorreta. A onda é uma perturbação que transporta energia e não matéria.

4. a. De acordo com a ilustração, as ordenadas máxima e mínima em relação à origem são +0,40 m e –0,40 m. Dessa forma, a amplitude é dada por $A = |y_{máx.}| \therefore A = 0{,}40$ m.

O comprimento de onda pode ser obtido pela distância entre *A* e *B*, que são duas cristas consecutivas, de forma que o comprimento de onda é $\lambda = 1{,}60$ m.

b. Sendo $v = 0{,}32$ m/s a intensidade da velocidade de propagação da onda e $\lambda = 1{,}60$ m, podemos determinar a frequência por meio da equação fundamental da ondulatória: $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 0{,}32 = 1{,}60 \cdot f \therefore f = 0{,}20$ Hz

Já o período pode ser calculado por:

$T = \frac{1}{f} \Rightarrow T = \frac{1}{0{,}20} \therefore T = 5{,}0$ s

5. Alternativa **b**. O cálculo da distância que cada pulso de $t_0 = 0$ até $t_1 = 1$ s percorre é:

$v = \frac{D}{\Delta t} \Rightarrow D = v \cdot \Delta t \Rightarrow D = 2 \cdot 1 \therefore D = 2$ m

Logo, em $t_1 = 1$ s, os pulsos, em concordância da fase, estarão superpostos com suas cristas posicionadas em $x = 0$ m. Haverá, portanto, interferência construtiva e a amplitude do pulso resultante será *A*, dada por:

$A = A_1 + A_2 \Rightarrow A = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} \Rightarrow A = \frac{2}{100} \therefore A = \frac{1}{50}$ m

6. A difração. As ondas eletromagnéticas da telefonia celular estão nas faixas de frequência do rádio (com comprimentos de onda entre 10 m e 10^3 m) e das micro-ondas (com comprimentos de onda entre 6 cm e 12 cm). Por isso, as ondas se difratam intensamente nessas situações, transpondo esses obstáculos e chegando às nossas casas.

7. Isso ocorre em virtude da súbita redução de profundidade na aproximação da orla litorânea, que pode ser entendida como uma mudança no meio de propagação. Nessa situação, a intensidade da velocidade de propagação das ondas, bem como o seu comprimento de onda, também sofre redução. Isso é próprio da refração, quando ondas que se propagam na superfície da água passam de uma região profunda para uma região rasa. Com a base da onda se tornando menos veloz, o topo (crista) tende a manter um movimento inercial em maior velocidade, o que faz a onda quebrar ao atingir a orla.

8. Alternativa **c**. Na reflexão de ondas, a intensidade da velocidade de propagação, a frequência (e o período) e o comprimento de onda não se alteram. Além disso, o ângulo de reflexão é sempre igual ao ângulo de incidência.

9. Alternativa **a**. Um filtro polarizador, quando posicionado verticalmente, impede a passagem de luz que está polarizada horizontalmente. Como o texto afirma que a luz refletida na água empoçada está polarizada horizontalmente, então os filtros dos óculos devem estar polarizados verticalmente.

Em foco

1. a. Os sismos são geralmente produzidos pela movimentação de placas tectônicas nas regiões de falhas geológicas do interior da Terra.

b. Abalos sísmicos são ondas mecânicas, que necessitam de um meio material para se propagar (neste caso, o meio é a crosta terrestre).

2. Os abalos P, ou primários, que são mais velozes que os abalos S, secundários, são detectados primeiro e, quanto maior for a distância entre a estação sismológica e o epicentro do sismo, maior será o atraso da detecção do abalo S em relação ao abalo P (*delay*).

3. Resposta individual. Algumas possíveis respostas são:

Terremoto na Turquia e Síria, em fevereiro de 2023: magnitude 7,8

Terremoto em Taiwan, em abril de 2024: magnitude 7,4

Terremoto no Haiti, em agosto de 2021: magnitude 7,2

Mais informações sobre terremotos recentes podem ser obtidas no *site* do Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: https://moho.iag.usp.br/eq/latest. Acesso em: 2 out. 2024.

4. Respostas pessoais. Espera-se que os estudantes analisem o impacto de desastres naturais que podem afetar diretamente a população e reconheçam as medidas de segurança a serem adotadas por órgãos oficiais e pela população nessas situações para reduzir o número de pessoas afetadas e os danos em infraestruturas críticas e evitar a interrupção de serviços básicos.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **b**. Trata-se de um oscilador massa-mola, cujo período de oscilação, *T*, é dado em função da massa, *m*, e da constante de força, *k*, pela expressão:

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$

Sendo a frequência, *f*, o inverso do período, escrevemos:

$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$

No 1º caso, o assento oscila vazio:

$2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{25}}$

No 2º caso, o assento oscila com o astronauta sobre ele:

$1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{25 + M}}$

Combinando as equações, temos:

$\frac{2}{1} = \frac{\frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{25}}}{\frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{25 + M}}} \Rightarrow 2 = \sqrt{\frac{25 + M}{25}} \therefore M = 75$ kg

2. Alternativa **a**. Aplicando-se a equação fundamental da ondulatória, temos:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 2 = \lambda \cdot 10 \therefore \lambda = 0{,}2$ m ou $\lambda = 20$ cm

A passagem dos pulsos pelo ponto *P* impõe a esse ponto 2,5 ciclos de oscilações, o que implica uma duração de 2,5 períodos. Sendo *T* o período dos pulsos:

$\Delta t = 2{,}5T \Rightarrow \Delta t = 2{,}5 \cdot \frac{1}{f} \Rightarrow \Delta t = \frac{2{,}5}{10}$

$\therefore \Delta t = 0{,}25$ s ou $\Delta t = 250$ ms

3. Alternativa **c**. Para efeito de resolução, tudo se passa como se a roda do carro permanecesse parada e uma onda como a indicada no esquema, de comprimento de onda $\lambda = 20$ cm = = 0,20 m, passasse sob ela com velocidade constante. Precisamos inicialmente converter a velocidade de km/h para m/s:

$v = \frac{72}{3{,}6} \therefore v = 20$ m/s

A frequência dessa onda progressiva, então, fica determinada pela equação fundamental da ondulatória:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{20}{0{,}2} \therefore f = 100$ Hz

4. Alternativa **b**. Podemos calcular a velocidade do som na água pela equação fundamental da ondulatória, adequando as unidades do comprimento de onda e da frequência:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 0{,}5 \cdot 3.000 \therefore v = 1.500$ m/s

Assim, podemos calcular o intervalo de tempo gasto pelo som no percurso até o detector. Admitindo-se a água homogênea e isotrópica, então o som realiza um movimento uniforme, logo:

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} \Rightarrow \Delta t = \frac{3.000}{1.500} \therefore \Delta t = 2$ s

5. Alternativa **a**. Podemos calcular a frequência da onda:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^8}{0{,}2} \therefore f = 1{,}5 \cdot 10^9$ Hz

Então, podemos calcular o intervalo de tempo de ida e volta do sinal, que se propaga em movimento uniforme, usando as unidades adequadas:

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} \Rightarrow \Delta t = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^7}{3 \cdot 10^8} \therefore \Delta t \simeq 0{,}13$ s

6. Alternativa **c**. Caso os equipamentos de comunicação da aeronave operem na mesma frequência dos telefones celulares, pode ocorrer o fenômeno de interferência entre as radiofrequências utilizadas por esses dispositivos.

7. **a.** Na região do cânion, a intensidade da velocidade de propagação da onda é:

$v_0 = \sqrt{g \cdot h_0} \Rightarrow v_0 = \sqrt{10 \cdot 3.240} \therefore v_0 = 180$ m/s

Na costa, a intensidade da velocidade de propagação da onda é:

$v = \sqrt{g \cdot h} \Rightarrow v = \sqrt{10 \cdot 40} \therefore v = 20$ m/s

Da região do cânion à região costeira, as ondas sofrem refração, conservando sua frequência. Logo:

$f = f_0 \Rightarrow \frac{v}{\lambda} = \frac{v_0}{\lambda_0} \Rightarrow \frac{20}{\lambda} = \frac{180}{900} \therefore \lambda = 100$ m

b. Considerando que a energia associada à onda se conserva durante sua propagação, temos:

$E = E_0 \Rightarrow k \cdot v \cdot A^2 = k \cdot v_0 \cdot A_0{}^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 20 \cdot A^2 = 180 \cdot 5^2 \Rightarrow A^2 = 9 \cdot 25 \therefore A = 15$ m

8. Alternativa **d**. As fendas S_1 e S_2 operam como duas fontes coerentes, que emitem ondas luminosas de mesma frequência em concordância de fase. Essas ondas se superpõem na região entre os dois anteparos da direita no esquema do enunciado, criando uma interferência em que se destacam linhas ventrais (lugar geométrico de pontos de interferência construtiva ou reforço) e linhas nodais (lugar geométrico de pontos de interferência destrutiva ou anulamento). As franjas claras ou brilhantes coincidem com os locais de projeção das linhas ventrais, enquanto as franjas escuras coincidem com os locais de projeção das linhas nodais. O experimento de Young é um dos mais reveladores da Física. Ele deu uma forte sustentação à teoria ondulatória da luz, já que os fenômenos de difração e interferência são tipicamente ondulatórios.

9. Alternativa **b**. Se a luz refletida pelo asfalto precisa ser bloqueada, o filtro dos óculos deve ser perpendicular ao plano que contém a maior parte das vibrações. Portanto, o eixo de polarização adequado para as lentes é o vertical para ambas as lentes.

Capítulo 19 Acústica

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar questões e interpretar modelos explicativos por meio do entendimento das propriedades do som para enfrentar situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.
- Comunicar para diversos grupos os resultados de experimentos elaborando e interpretando tabelas e textos com o intuito de promover o debate científico.
- Analisar propriedades de meios materiais para entender como o som se propaga por eles e poder adequar o seu uso em aplicações cotidianas.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2; 4; 5; 7; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT307

Sugestões didáticas

Inicie a aula com uma roda de conversa, incentivando hipóteses sobre como se produz o som de um instrumento e como funciona o isolamento acústico. Apresente e discuta os conceitos de propagação do som, velocidade, características (volume, altura e timbre) e fenômenos como eco e refração.

Se pertinente, apresente o seguinte episódio de *podcast*, que explica como cegos usam eco para se locomover. CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Saiba como cegos usam eco para se locomover**. [Locução de]: Silvano Mendes. [*S.l.*]: Rádio França Internacional, 6 jan. 2015. *Podcast*. Disponível em: https://www.rfi.fr/br/geral/20150107-saiba-como-cegos-usam-eco-para-se-locomover. Acesso em: 3 nov. 2024.

No trabalho com a velocidade do som e a audição, os estudantes desenvolvem a habilidade **EM13CNT307**, ao analisar as propriedades de meios materiais em seu cotidiano. Retome o conceito de frequência sonora e pergunte se a variação do som com a fonte em movimento é perceptível, relacionando com exemplos, como o som de uma ambulância passando. Peça aos grupos que discutam hipóteses sobre a mudança no som da sirene e leiam o texto WERNECK, M. M. Como funcionam os radares de trânsito? **Revista Ciência Hoje**, n. 257. 2009. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/artigo/como-funcionam-os-radares-de-transito/. Acesso em: 29 set. 2024. A síntese sobre o efeito Doppler deve relacionar o deslocamento da fonte e do observador com a percepção sonora. Durante as atividades, circule entre os grupos para acompanhar o desempenho e desenvolver a **competência geral 9**, com foco na escuta empática e negociação de ideias.

Em **Na prática**, os estudantes desenvolvem as habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT302**, ao interpretar modelos e comunicar resultados, trabalhando também a **competência geral 2** ao elaborar hipóteses e exercitar a resolução de problemas. Oriente os grupos a perceberem que o celular representa o observador em repouso e o *buzzer* na bolinha de tênis é a fonte sonora móvel. Após a coleta de dados, peça que discutam seus resultados, mobilizando as **competências gerais 4** e **7** ao justificar ideias com base em evidências. Retome a questão inicial sobre instrumentos acústicos e explore como a ressonância e a espessura das cordas afetam o som.

A simulação "Onda em corda", sugerida na seção **Fique por dentro**, ajuda a visualizar a propagação da onda e permite ajustes como tensão e amortecimento, favorecendo o uso de tecnologias digitais e o desenvolvimento da **competência geral 5**.

Atividade complementar

Produção de som por diferentes instrumentos

Oriente os estudantes a formar grupos de até cinco integrantes e proponha uma atividade de manipulação dos seguintes objetos: elástico de dinheiro; elástico de dinheiro fixado em uma tigela envolvida com papel plástico; canudo; elástico de dinheiro envolvido em um tubo de PVC; apito. Peça que produzam sons usando cada um dos objetos e atentando-se ao modo como cada som é produzido.

Após manipularem os objetos, cada grupo deverá discutir e formular algumas hipóteses sobre a produção do som dos instrumentos. Anote na lousa as hipóteses mencionadas pelos estudantes para cada objeto. Em seguida, peça aos grupos que façam a leitura dos tópicos "Ondas sonoras" e "Intensidade sonora, altura e timbre" e registrem no caderno os pontos principais e as dúvidas. Na sequência, retome a discussão anterior e as hipóteses levantadas pelos grupos e peça que formulem novas hipóteses sobre as duas perguntas iniciais, agora com base na leitura realizada.

Depois, peça aos grupos que respondam aos questionamentos a seguir, sugerindo que anotem as conclusões a que chegarem. Se julgar necessário, ajude os grupos a organizar as ideias sobre o assunto, destacando: como o som foi produzido na vibração de um objeto, as características do som (intensidade sonora e amplitude da onda), altura sonora (frequência da onda) e timbre (tipo de onda). Essas estratégias permitem o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** e das **competências gerais 2**, **3** e **9**.

1. Houve diferença(s) no som produzido pelos objetos? Qual(is)?
2. Houve diferença(s) nos timbres dos sons produzidos? Em caso afirmativo, por que ocorreu essa diferença?
3. Com relação aos três primeiros objetos, houve diferença na intensidade? Qual objeto emitiu som menos intenso?
4. Com relação aos três primeiros objetos, como podemos mudar a altura do som emitido?
5. Quais semelhanças a instrumentos musicais tradicionais podem ser apontadas com relação aos três primeiros objetos e aos dois últimos?
6. Com relação ao apito, como aumentar a sua intensidade sonora?
7. Com relação ao apito, é possível aumentar a sua altura sonora?
8. Como podemos explicar a diferença entre o som produzido pelo canudo e o som produzido pelo apito?

Quando os grupos concluírem suas reflexões, promova uma discussão com base nas respostas deles, chamando-lhes a atenção para o uso dos conceitos científicos de maneira correta para explicar o fenômeno.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. **a.** Intensidade sonora; **b.** Altura; **c.** Timbre.
2. Não, o correto seria dizer: "Fulano, por favor, reduza o volume, pois o som está muito forte ou intenso". A altura de um som está relacionada à sua frequência, não à sua intensidade.
3. Alternativa **d**. Como os dois instrumentos estão emitindo a mesma nota, podemos afirmar que o som tem a mesma altura ou frequência. Assim, a característica que diferencia o som de uma flauta do som de um piano é o formato da onda, que denominamos timbre do som.
4. Os dois fenômenos são provocados pela reflexão sonora. Na reverberação, o som refletido é percebido "emendado" com o som principal, e, no eco, o som refletido é percebido separado do som principal. Para que ocorra o eco, o intervalo de tempo entre o som direto e o som refletido deve ser maior que 0,10 s (persistência auditiva).
5. O intervalo de tempo entre duas palmas consecutivas (período das palmas) deve ser igual ao intervalo de tempo gasto pelo som para ir ao penhasco, refletir-se (fenômeno instantâneo) e retornar ao garoto.
6. Alternativa **b**. Em relação à pessoa *A*, de quem a ambulância se afasta, a frequência percebida é menor que a real, tornando o som aparentemente mais grave e o comprimento de onda maior que o real. Já em relação à pessoa *B*, de quem a ambulância se aproxima, a frequência percebida é maior que a real, tornando o som aparentemente mais agudo, e o comprimento de onda menor que o real.
7. Da expressão geral para o efeito Doppler, temos:
$$\frac{f_{observada}}{v_{som} \pm v_{observador}} = \frac{f_{fonte}}{v_{som} \pm v_{fonte}} \Rightarrow \frac{850}{340 \pm 0} = \frac{800}{340 \pm v_{fonte}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 340 - v_{fonte} = \frac{800 \cdot 340}{850} \Rightarrow 340 - v_{fonte} = 320$$
$$\therefore v_{fonte} = 20 \text{ m/s}$$
Convertendo o valor obtido para km/h, temos:
$v_{fonte} = 20 \cdot 3{,}6 \therefore v_{fonte} = 72$ km/h
8. **a.** Frequência f_1:
$3 \cdot \frac{\lambda_1}{2} = L \Rightarrow 3 \cdot \frac{\lambda_1}{2} = 60 \therefore \lambda_1 = 40$ cm
Frequência f_2:
$4 \cdot \frac{\lambda_2}{2} = L \Rightarrow 2\lambda_2 = 60 \therefore \lambda_2 = 30$ cm
b. A intensidade da velocidade dos pulsos que se propagam ao longo da corda e determinam as ondas estacionárias é a mesma nas duas situações. Logo, pela equação fundamental da ondulatória:
$v_1 = v_2 \Rightarrow \lambda_1 \cdot f_1 = \lambda_2 \cdot f_2 \Rightarrow 40 f_1 = 30 f_2 \therefore \frac{f_1}{f_2} = \frac{3}{4}$
c. Sim, pois f_n é diretamente proporcional a n. O som do 2º harmônico, por exemplo, tem o dobro da frequência do harmônico fundamental.
9. **a.** Na extremidade aberta do tubo nota-se a formação de um ventre de onda estacionária e na extremidade fechada, de um nó. Como ocorrem ainda dois nós internos, trata-se do 5º harmônico.
b. Neste caso, para calcular o comprimento de onda em um tubo sonoro fechado, utiliza-se:
$\lambda_n = \frac{4L}{n} \Rightarrow \lambda_5 = \frac{4 \cdot 1{,}0}{5} \therefore \lambda_5 = 0{,}8$ m
c. Neste caso, para calcular a frequência em um tubo sonoro fechado, utiliza-se:
$f_n = n \cdot \frac{v}{4L} \Rightarrow f_5 = 5 \cdot \frac{340}{4 \cdot 1{,}0} \therefore f_5 = 425$ Hz
10. Alternativa **d**. No sino dos ventos, a barra de menor comprimento produz o som fundamental mais agudo, isto é, o de maior frequência, ocorrendo o oposto com a barra de maior comprimento, logo: $f_1 > f_2$
Independentemente da frequência, todos os sons se propagam no ar, do mesmo ambiente, com a mesma intensidade de velocidade, algo em torno de 340 m/s.
Assim: $v_1 = v_2$

Em foco

1. A poluição sonora é um fenômeno que ocorre quando o som altera a condição normal de audição em determinado ambiente, tornando-se desconfortável. Nas grandes cidades, a poluição sonora é composta de diversos fatores, como grande quantidade de carros, ônibus e motocicletas nas ruas e barulho intenso de obras de construção civil, por exemplo. Espera-se que os estudantes identifiquem alguns elementos de poluição sonora que são comuns em seu cotidiano.
2. As medidas que estão sendo adotadas para mitigar os impactos da poluição sonora incluem o aumento da fiscalização em obras, garantindo que operem dentro dos horários permitidos, e a promoção de meios de transporte mais sustentáveis, como o incentivo ao uso de bicicletas e ao transporte público. Espera-se que os estudantes sejam capazes de apontar outras iniciativas possíveis para a promoção do bem-estar da população. Se necessário, pode-se sugerir a realização de pesquisas para encontrar informações sobre o tema.
3. Espera-se que os estudantes argumentem que a exposição a longo prazo pode levar à perda auditiva, impactar a saúde mental e a qualidade de vida, e que reflitam sobre a importância do cuidado com a saúde auditiva.

Trabalho e juventudes

A seção de **Trabalho e juventudes** aborda a discussão sobre como a economia criativa pode ser uma forma de promover o crescimento econômico sustentável, ao propor padrões de produção e consumo sustentáveis, contribuindo para reduzir a desigualdade, alinhada aos **ODS 8** (Trabalho decente e crescimento econômico), **10** (Redução das desigualdades) e **12** (Consumo e produção responsáveis).

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre como cursos gratuitos, projetos sociais e oficinas artísticas e culturais possibilitam aos jovens desenvolver habilidades técnicas importantes para a inserção no mercado de trabalho e acessar materiais e estrutura técnica para o desenvolvimento de seus projetos. A qualificação profissional pode gerar novas oportunidades. Novas oportunidades de emprego e profissionais qualificados levam à redução do desemprego, o que pode impulsionar o crescimento econômico e social.
2. As diferentes áreas da economia criativa possibilitam aos jovens expressar sua criatividade. Os projetos relacionados estimulam a autonomia, promovem o desenvolvimento da empatia, autoconfiança e autoconhecimento. Muitas das atividades são realizadas em grupo, valorizando o trabalho em equipe, a colaboração e a flexibilidade. A inovação estimula o pensamento crítico. Atividades como a música, a dança e o teatro desenvolvem habilidades de comunicação verbal e não verbal.
3. As diferentes áreas da economia criativa possibilitam aos jovens que expressem sua criatividade. Os projetos relacionados estimulam a autonomia, promovem o desenvolvimento da empatia, autoconfiança e autoconhecimento.

Na prática

1. A frequência do som do *buzzer* em repouso não será sempre a mesma. Isso provavelmente acontece devido à variação do próprio som emitido pelo *buzzer* (decorrente de variação da corrente elétrica, por exemplo) e à configuração espacial do experimento. Para minimizar o efeito desse último fator, estabeleça uma posição fixa para o celular e para o circuito elétrico com o *buzzer*, voltado para a abertura do microfone no celular. As medições devem ser feitas em local fechado e silencioso. O quadro a seguir mostra alguns resultados possíveis para as medições.

Medição	Valor mínimo (Hz)	Valor máximo (Hz)	Valor médio (Hz)
1	2.789,2	2.789,5	2.789,3
2	2.789,8	2.790,1	2.789,9
3	2.789,8	2.790,4	2.790,1

O valor médio da frequência do *buzzer*, nesse caso, é:

$f_{fonte} = \frac{2.789,3 + 2.789,9 + 2.790,1}{3} \therefore f_{fonte} \simeq 2.790$ Hz

Como há uma flutuação no último dígito da leitura, podemos seguir com os próximos cálculos considerando valores aproximados, sem haver perda de informação.

2. Espera-se que a maior frequência seja registrada com o *buzzer* em rotação. Isso acontece porque a intensidade da velocidade do movimento de rotação deve ser maior, já que, manualmente, é mais fácil fornecer energia para um sistema em rotação.
3. No movimento de oscilação, pois manualmente é mais fácil fornecer energia para um corpo em movimento de oscilação, já que os impulsos ocorrem de maneira gradual. Em um movimento linear, há necessidade de se atingir uma velocidade de intensidade alta o suficiente para o efeito Doppler ser perceptível. Pode-se incentivar os estudantes a testar outros movimentos lineares do *buzzer*.
4. Transformando, primeiramente, a velocidade de 250 km/h em m/s, temos: $v = \frac{250}{3,6} \therefore 69,4$ m/s

Na situação de aproximação e usando $f_{fonte} = 2.790$ Hz, temos:

$f_{obs.}^{aprox.} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} - v_{fonte}} \Rightarrow f_{obs.}^{aprox.} = 2.790 \cdot \left(\frac{340}{340 - 69,4}\right)$

$\therefore f_{obs.}^{aprox.} = 3.505$ Hz

No caso do *buzzer* se afastando com a mesma velocidade, temos:

$f_{obs}^{afast.} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} + v_{fonte}} \Rightarrow f_{obs.}^{afast.} = 2.790 \cdot \left(\frac{340}{340 + 69,4}\right)$

$\therefore f_{obs.}^{afast.} = 2.317$ Hz

5. Espera-se que os estudantes trabalhem a habilidade **EM13CNT302**, sendo capazes de comunicar para seus professores e colegas os resultados de análises do experimento realizado, elaborando e interpretando os resultados. Também se espera que esta atividade promova um debate ou discussão do experimento e seus resultados, permitindo que eles identifiquem as eventuais dificuldades encontradas durante a realização do experimento e as registrem propondo sugestões de melhorias.

Atividades de fechamento

1. $\beta'' - \beta' = 10\ log\left(\frac{I''}{I'}\right) \Rightarrow \beta'' - 80,0 = 10\ log\left(\frac{9I'}{I'}\right) \Rightarrow$

$\Rightarrow \beta'' - 80,0 = 10\ log(9) \Rightarrow$

$\Rightarrow \beta'' - 80,0 = 10 \cdot 0,95 \therefore \beta'' = 89,5$ dB

2. **a.** O intervalo de tempo T é o período das palmas e também corresponde ao tempo de ida e volta das ondas sonoras, que se propagam até o penhasco, refletem-se e retornam a José Paulino.

$T = \frac{1}{f} \Rightarrow T = \frac{1}{0,40} \therefore T = 2,5$ s

b. Som: movimento uniforme

$v_{som} = \frac{2d}{T} \Rightarrow 340 = \frac{2d}{2{,}5} \therefore d = 425$ m

3. Alternativa **d**. O tempo que a onda levou para se propagar no líquido pode ser calculado como: $t_{líq.} = t_{total} - t_{solo} \Rightarrow$ $\Rightarrow t_{líq.} = 1{,}1 - 0{,}5 \therefore t_{líq.} = 0{,}6$ s. Sabendo que a distância percorrida pela onda ao retornar é o dobro da espessura da camada, calculamos a velocidade de propagação no líquido da seguinte forma:

$d = v_{líq.}\, t_{líq.} \Rightarrow 900 = v_{líq.} \cdot 0{,}6 \Rightarrow v_{líq.} = \frac{900}{0{,}6} \therefore v_{líq.} = 1.500$ m/s

4. **a.** A velocidade de intensidade máxima do MHS ocorre quando a fonte passa pelo ponto de equilíbrio *O*, sendo determinada por:

$v_{máx.} = A \cdot \omega \Rightarrow v_{máx.} = A \cdot \frac{2\pi}{T}$

Com $A = 50$ cm $= 0{,}50$ m e $T = \frac{\pi}{20}$ s, temos:

$v_{máx.} = 0{,}50 \frac{2\pi}{\frac{\pi}{20}} \therefore v_{máx.} = 20$ m/s

b. Efeito Doppler:

$\frac{f_D}{v_{som} \pm v_D} = \frac{f_F}{v_{som} \pm v_F}$

A frequência mínima (Doppler) detectada em *D* ocorre quando a fonte passa em *O* dirigindo-se para a esquerda (afastamento).

$\frac{f_{D_{mín.}}}{320 + 0} = \frac{1.020}{320 + 20} \Rightarrow f_{D_{mín.}} = \frac{1.020 \cdot 320}{340} \therefore f_{D_{mín.}} = 960$ Hz

A frequência máxima (Doppler) detectada em *D* ocorre quando a fonte passa em *O* dirigindo-se para a direita (aproximação).

$\frac{f_{D_{máx.}}}{320 + 0} = \frac{1.020}{320 - 20} \Rightarrow f_{D_{máx.}} = \frac{1.020 \cdot 320}{300} \therefore f_{D_{máx.}} = 1.088$ Hz

5. **a.** Aplicando-se a fórmula de Taylor, temos:

$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}}$

Sendo $T = 240$ N, $L = 120$ cm $= 1{,}2$ m e $m = 80$ g $= 0{,}08$ kg, determina-se o valor de *v*:

$v = \sqrt{\frac{240 \cdot 1{,}2}{0{,}08}} \Rightarrow v = \sqrt{240 \cdot 15} = \sqrt{3.600} \therefore v = 60$ m/s

b. Para o 4º harmônico presente na corda:

$f_4 = 4 \cdot \frac{v}{2L} \Rightarrow f_4 = 4 \cdot \frac{60}{2 \cdot 1{,}2} \therefore f_4 = 100$ Hz

6. Alternativa **a**. A intensidade da velocidade dos pulsos que se propagam ao longo das cordas 1 e 2 é a mesma, já que as duas cordas estão sujeitas à mesma força de tração, *T*, tendo ambas a mesma densidade linear de massa, ρ. De fato, pela fórmula de Taylor:

$v_2 = v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$

Vibração no modo fundamental:

$L = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2L \Rightarrow v = \lambda f \Rightarrow v = 2L \cdot f$

Sabendo que a velocidade é a mesma para as duas cordas:

$v_2 = v_1 \Rightarrow 2L_1 \cdot f_1 = 2L_2 \cdot f_2$

Sendo $L_1 = 5{,}0$ cm e $f_1 = 150 f_2$, temos:

$5{,}0 \cdot 150 f_2 = L_2 \cdot f_2 \Rightarrow \frac{750 \cdot f_2}{f_2} = L_2 \therefore L_2 = 750$ cm ou $L_2 = 7{,}5$ m

7. Respostas pessoais. Espera-se que os estudantes conheçam um pouco mais sobre a cultura musical dos povos indígenas brasileiros e que relacionem os instrumentos musicais de sopro e de cordas estudados neste capítulo com a música, o folclore e as tradições culturais locais.

8. **a.** A distância entre dois nós consecutivos (ou entre dois ventres consecutivos) da onda estacionária equivale a 0,5 comprimento de onda da onda progressiva que vai e vem, refletindo-se sucessivamente nas extremidades do tubo. Logo, da ilustração:

$L = 4C \Rightarrow L = 4 \cdot 0{,}125$ m $\therefore L = 0{,}50$ m $= 50$ cm

b. Da equação fundamental da ondulatória:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = 2C \cdot f \Rightarrow v = 2 \cdot 0{,}125 \cdot 1.000$

$\therefore v = 250$ m/s

Capítulo 20 Radioatividade

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término desse capítulo, o estudante seja capaz de:

- Reconhecer o conceito de radioatividade, as características das radiações ionizantes e sua origem, e avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação no cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.
- Avaliar os benefícios da utilização e os riscos à saúde e ao meio ambiente dos materiais radioativos para se posicionar criticamente com relação ao uso e ao descarte correto desses materiais.
- Avaliar o impacto da radiação ionizante nos seres vivos, em geral, e no corpo humano.
- Elaborar previsões e estimativas, interpretar modelos explicativos e resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões a respeito da utilização da radiação em situações-problema sob uma visão científica.
- Reconhecer as propriedades dos materiais radioativos para avaliar seu uso em diversas aplicações.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 4; 5; 9
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT103; EM13CNT104; EM13CNT301; EM13CNT304; EM13CNT306; EM13CNT307

Sugestões didáticas

Inicie o capítulo pedindo aos estudantes que escrevam três palavras ou ideias sobre radioatividade e duas perguntas, evidenciando que não há certo e errado nesse momento. Peça que compartilhem suas ideias, o que favorece o desenvolvimento da **competência geral 4**, e registre as palavras-chave na lousa, identificando os conhecimentos prévios e concepções alternativas.

Em grupos, peça aos estudantes que leiam o tópico "Força nuclear", e respondam a perguntas como: "Quais partículas compõem o núcleo?", "O que é energia de ligação do núcleo?". Essas discussões ampliam a compreensão da radioatividade e desenvolvem a **competência geral 9** por meio da escuta ativa e empatia. Promova debates sobre as condições que tornam um núcleo estável ou instável e a origem natural das emissões radioativas.

Oriente os grupos a resolverem as atividades das seções **Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**, relacionando-as ao conteúdo discutido. Introduza os tipos de decaimento radioativo (alfa, beta e gama), destacando as diferenças entre radiações corpusculares e eletromagnéticas. Incentive perguntas e sínteses individuais sobre a capacidade de penetração das diferentes radiações.

No tópico "Radioisótopos e meia-vida", destaque o conceito de meia-vida e sua função exponencial, discutindo exemplos como o acidente com césio-137 em Goiânia. Solicite pesquisas

sobre acidentes nucleares e textos argumentativos sobre as soluções adotadas, favorecendo as habilidades **EM13CNT103** e **EM13CNT104**. Para essa abordagem, sugerimos a **Atividade complementar** apresentada a seguir.

O tópico "Aplicações da radioatividade" proporciona elementos para trabalhar o **TCT Ciência e tecnologia** e o **TCT Saúde** ao discutir o uso da radioatividade em tecnologias para tratamento e prevenção de doenças.

Você também pode sugerir que leiam o texto da seção **Em foco** e, em grupos, discutam as questões propostas, que favorecem o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, ao propor que avaliem os riscos associados à exposição a radiações ionizantes e apliquem conhecimentos das Ciências da Natureza para justificar o uso de equipamentos de segurança para minimizar os riscos associados à exposição aos raios X, visando à integridade física.

Na apresentação do tópico "Irradiação de alimentos", se julgar conveniente, sugira a leitura do texto indicado na seção **Fique por dentro**, que favorece o trabalho com a **competência geral 5**.

Por fim, proponha que os estudantes resolvam as atividades das seções **Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**, que favorecem o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT307**. Ao propor que as atividades que envolvem pesquisas e discussões sejam trabalhadas coletivamente ou em pequenos grupos, também é possível trabalhar a **competência geral 9**.

Atividade complementar

O acidente radiológico de Goiânia

Para aprofundar o estudo da radioatividade, a seguinte atividade de pesquisa pode ser proposta aos estudantes. Peça que, em grupos, pesquisem o acidente radiológico de Goiânia, em 1987, e elaborem uma apresentação oral para a turma relatando os eventos principais, a causa do acidente, suas consequências, impactos sobre o ambiente e a população local, concluindo com as medidas que podem ser tomadas para evitar acidentes como aquele. Peça que incluam informações sobre a causa do acidente, os efeitos da contaminação por césio-137, os efeitos na saúde das pessoas afetadas e as medidas tomadas pelas autoridades locais para lidar com a situação. Peça que pesquisem como o acidente influenciou as normas de segurança e gerenciamento de resíduos radioativos no Brasil e no mundo.

Os estudantes podem explicar quando, onde e como ocorreu o acidente e sua relevância no contexto nacional e internacional; construir a fundamentação teórica pesquisando o que é o césio-137, quais são suas propriedades e suas aplicações na indústria e na medicina; abordar os riscos do césio-137 para a saúde humana e para o ambiente (eles podem citar a necessidade de desocupação da área no entorno do local onde o material foi encontrado, a contaminação da água e do solo). Destaque aos estudantes a importância da educação e da conscientização sobre a segurança radiológica. Proponha a reflexão sobre a importância de estudar eventos como esse para evitar acidentes semelhantes no futuro. Encoraje discussões sobre a responsabilidade individual e coletiva na prevenção de acidentes dessa natureza. Lembre os estudantes de sempre buscarem informações em fontes confiáveis, como livros, artigos científicos e *sites* governamentais ou de institutos de pesquisa, e de indicarem as referências bibliográficas utilizadas.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. A energia de ligação nuclear é dada pela diferença entre a soma das massas dos núcleons que compõem um átomo e o valor indicado em uma tabela de massas nucleares. Ela está associada à energia de ligação entre os prótons e nêutrons no núcleo do átomo. Esse valor corresponde a uma parte da massa do átomo por causa da propriedade da equivalência entre massa e energia. Essa energia é a responsável por garantir uma estabilidade para o núcleo atômico.

2. A radioatividade é a propriedade de certos elementos químicos de emitirem partículas (como elétrons) ou ondas (como raios gama) de forma espontânea e contínua, devido à instabilidade de seus núcleos atômicos. A radiação α consiste na emissão espontânea de uma partícula composta de dois prótons e dois nêutrons, ou seja, um núcleo de hélio (He). A radiação β consiste na emissão de um pósitron ou elétron. A radiação γ consiste na emissão de um fóton de alta energia, que resulta na mudança de energia do núcleo emissor entre dois estados.

3. Para que os índices superiores e inferiores da equação de desintegração estejam consistentes, devemos ter:

$^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^{4}_{2}\text{X}$

A partícula alfa apresenta 2 prótons ($Z = 2$) e 2 nêutrons ($A = 4$), o que assegura a consistência da equação de desintegração. Logo, X é a partícula alfa $\left({}^{4}_{2}\alpha\right)$.

4. As fontes naturais incluem a radiação cósmica proveniente do espaço exterior, radiação proveniente do solo e de materiais radioativos presentes na crosta terrestre, como urânio e tório. As fontes artificiais incluem o uso de raios X em diagnóstico médico e terapia, isótopos radioativos utilizados em tratamentos de câncer e em exames de medicina nuclear, e radiação usada na indústria para esterilizar alimentos.

5. A meia-vida de um elemento radioativo é o tempo necessário para que metade dos átomos de um isótopo radioativo em uma amostra decaia ou se desintegre. É uma medida da estabilidade do elemento radioativo, pois indica quanto tempo leva para que sua atividade radioativa seja reduzida pela metade. A meia-vida é uma propriedade física e característica de cada elemento radioativo.

6. **a.** De acordo com o gráfico, a meia-vida do césio-137, simbolizada por $t_{1/2}$, é de 30 anos. Esse dado também pode ser confirmado pela análise da tabela, que indica o valor 30,08 anos. Chame a atenção dos estudantes para o fato de que o número de casas decimais utilizado nos dois casos (gráfico e tabela) indica a precisão dos dados. Se achar conveniente, comente que essa diferença de 0,08 ano nos dados corresponde a aproximadamente 29 dias. Nesse caso, considerar os valores aproximados é razoável (30,08 anos $\simeq$ 30 anos).

b. No intervalo de tempo de 30 anos, ocorre o decaimento de 50% dos núcleos radioativos, como indica o gráfico. Portanto, após uma meia-vida, a amostra de césio-137 deve conter 50% de núcleos radioativos.

c. Com base na análise do gráfico, após três meias-vidas ($3t_{1/2}$) a porcentagem de núcleos radioativos presentes nessa amostra é 12,5%.

7. O termo "período de semidesintegração" é sinônimo de meia-vida. Do enunciado, consideramos que a massa residual é $m = 1{,}75$ g e a massa inicial é $m_0 = 28$ g. Após um número n de meias-vidas, temos: $m = \dfrac{m_0}{2^n}$

em que n é o número de meias-vidas até se atingir a massa residual desejada. Assim:

$1{,}75 = \dfrac{28}{2^n} \Rightarrow 2^n = \dfrac{28}{1{,}75} \Rightarrow 2^n = 16 \Rightarrow 2^n = 2^4 \Rightarrow n = 4$

Portanto, haverá a necessidade de 4 períodos de meia-vida para que seja atingido um nível seguro de redução de massa. Em horas, esse valor corresponde a:

$\Delta t = n \cdot t_{1/2} \Rightarrow \Delta t = 4 \cdot 17 \text{ h} \therefore \Delta t = 68 \text{ h}$

8. A irradiação de alimentos tem como função principal esterilizar alimentos, expondo-os a uma fonte de radiação, reduzindo ou eliminando microrganismos e insetos nocivos. A irradiação de alimentos geralmente se dá por meio da exposição a radiações ionizantes, como os raios gama, por exemplo, que penetram nos alimentos, danificando o DNA e inibindo a capacidade de reprodução dos microrganismos sem tornar radioativos os alimentos.

9. Calculemos, inicialmente, o número de meias-vidas. Para isso, basta dividirmos o tempo transcorrido (Δt) pela meia-vida do elemento (P).

$n = \frac{\Delta t}{P} \Rightarrow n = \frac{17.190}{5.730} \Rightarrow n = 3$

Do enunciado, temos que a massa inicial é $m_0 = 20$ g e precisamos determinar a massa residual m. A relação entre a massa residual, a massa inicial e o número n de meias-vidas é dada por:

$m = \frac{m_0}{2^n} \Rightarrow m = \frac{20}{2^3} \Rightarrow m = \frac{20}{8} \therefore m = 2{,}5 \text{ g}$

10. Alternativa **c**. Na bomba atômica de urânio ocorre a reação de fissão nuclear não controlada, de forma exponencial, liberando uma quantidade de energia muito grande em um curtíssimo intervalo de tempo. A reação é chamada em cadeia porque, após o bombardeio inicial de um núcleo de urânio-235 por um nêutron, outros nêutrons são liberados; eles então colidirão com outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, em reações de fissão nuclear.

Em foco

1. A exposição excessiva ou descontrolada à radiação ionizante pode ser prejudicial à saúde. A remoção de elétrons dos átomos e moléculas pode causar danos celulares e genéticos significativos, levando ao desenvolvimento de doenças e mutações genéticas. Os riscos incluem danos ao DNA, que podem levar ao desenvolvimento de câncer e outras doenças relacionadas à radiação, queimaduras na pele e outros prejuízos aos tecidos.

2. Os raios X são utilizados para produzir imagens internas do corpo, proporcionando informações importantes para diagnóstico e tratamento de diversas condições médicas e odontológicas. Eles são amplamente utilizados em diversas especialidades para permitir que se vejam ossos, dentes, tecidos moles e órgãos internos, possibilitando a detecção de fraturas, infecções, tumores e outras patologias. Em doses baixas e em ambientes controlados como esses, a utilização dos raios X é segura.

3. Para os pacientes, os exames de raios X devem ser solicitados e realizados apenas quando necessário, limitando a exposição à radiação ao mínimo possível para obter as informações diagnósticas adequadas. Os profissionais de saúde que manipulam equipamentos de raios X são treinados para operá-los de forma segura e limitar a exposição do paciente à radiação. Eles devem, obrigatoriamente, adotar as recomendações das normas e regulamentações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e do Ministério do Trabalho, que incluem, entre outras recomendações, o uso de aventais de chumbo e colares de tireoide para minimizar a exposição a áreas mais sensíveis do corpo. De acordo com essas normas e regulamentações, pessoas expostas aos raios X em ambientes de trabalho devem adotar o procedimento de dosimetria individual, em que a dose de radiação é medida por um equipamento usado pelo trabalhador para controlar sua exposição.

Atividades de fechamento

1. Os núcleons que compõem o núcleo atômico são os prótons e os nêutrons. O valor da massa total não é igual ao obtido experimentalmente, pois parte da massa é convertida em energia de ligação.

2. A estabilidade dos núcleos atômicos é garantida pela força nuclear forte, que atua entre os prótons e os nêutrons e tem intensidade muito maior do que a repulsão eletrostática. Os nêutrons ajudam a equilibrar a repulsão, aumentando a estabilidade.

3. A equação de decaimento é dada por:

$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{y}_{x}\text{X} + {}^{4}_{2}\alpha$

Portanto:

$\begin{cases} 226 = y + 4 \\ 88 = x + 2 \end{cases} \therefore \begin{cases} y = 222 \\ x = 86 \end{cases}$

Portanto, o elemento resultante X é o radônio, $^{222}_{86}\text{Rn}$.

4. **a.** Temos $A = 4$; $Z = 2$ e $N = 4 - 2 = 2$, então:

$M_{total} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n \Rightarrow$

$\Rightarrow M_{total} = 2 \cdot 1{,}007276 \text{ u} + 2 \cdot 1{,}008665 \text{ u}$

$\therefore M_{total} = 4{,}031882 \text{ u}$

b. Temos $A = 14$; $Z = 6$ e $N = 14 - 6 = 8$, então:

$M_{total} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n \Rightarrow$

$\Rightarrow M_{total} = 6 \cdot 1{,}007276 \text{ u} + 8 \cdot 1{,}008665 \text{ u}$

$\therefore M_{total} = 14{,}112976 \text{ u}$

c. Temos $A = 235$; $Z = 92$ e $N = 235 - 92 = 143$, então:

$M_{total} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n \Rightarrow$

$\Rightarrow M_{total} = 92 \cdot 1{,}007276 \text{ u} + 143 \cdot 1{,}008665 \text{ u}$

$\therefore M_{total} = 236{,}908487 \text{ u}$

5. Após 1 ano restarão: $\frac{1}{2^1} = 0{,}5$ (50% da amostra original do isótopo radioativo). Após 2 anos restarão: $\frac{1}{2^2} = 0{,}25$ (25% da amostra original do isótopo radioativo).

Após 4 anos restarão: $\frac{1}{2^4} = 0{,}0625$ (6,25% da amostra original do isótopo radioativo).

6. Alternativa **c**. Pelo gráfico, quanto maior a inclinação da curva, menor a meia-vida. Logo, em ordem crescente devemos ter Y, X e Z.

7. No caminho representado por (A), o polônio-218 decai para o astato-218 e emite radiação β; em seguida, o astato-218 decai para o bismuto-214 e emite radiação α. No caminho representado por (B), o polônio-218 decai para o chumbo-214 e emite radiação α; em seguida, o chumbo-214 decai para o bismuto-214 e emite radiação β. Em ambos os casos, a alteração no número atômico e no número de massa é a mesma no final do decaimento, pois são emitidas as mesmas partículas, mas em ordens diferentes. A ordem em que essas emissões ocorrem não altera o produto final.

8. Alternativa **a**.

I. Correta. Os isótopos $_{16}\text{O}$ e $_{18}\text{O}$ do oxigênio diferenciam-se por dois nêutrons, já que o número de prótons que caracteriza o elemento não se altera.

II. Incorreta. O tempo de 72.000 anos corresponde a 3 meias-vidas de 24.000 anos. Portanto, a massa da substância após 72.000 anos será de $\frac{600 \text{ g}}{2^3} = 75 \text{ g}$.

III. Incorreta. No decaimento β, a massa atômica não se altera, pois não há emissão de prótons ou nêutrons.

IV. Incorreta. O número de elétrons emitidos no efeito fotoelétrico não depende da frequência da onda incidente.

9. Alternativa **d**. As transformações que levam urânio-238 ao produto final chumbo-206 podem ser representadas pela reação: $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + n\,{}^{4}_{2}He + m\,\beta^-$

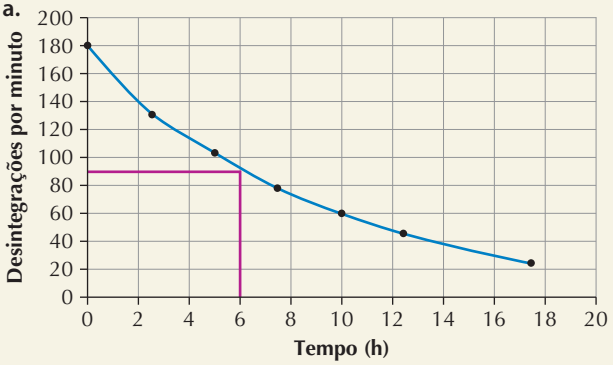
Os valores n e m são, respectivamente, o número de partículas α e de partículas β^- produzidas. Sabe-se que a carga elétrica e a massa se conservam. As partículas α têm 4 unidades atômicas de massa e 2 unidades positivas de carga. As partículas β^- (elétrons) têm massa desprezível, se comparada à unidade atômica de massa, e uma unidade negativa de carga. Então, considerando a conservação de massa, temos:

$238 = 206 + 4n \Rightarrow n = 8$

Considerando a conservação de carga, temos:

$92 = 82 + 2n - m \Rightarrow 92 = 82 + 2 \cdot 8 - m \Rightarrow m = 6$

10. a.



LUIZ RUBIO/ARQUIVO DA EDITORA

b. A meia-vida do tecnécio-99 é encontrada quando a quantidade de desintegrações por minuto do elemento químico se reduz pela metade. Traçando uma linha reta horizontal de 90 desintegrações por minuto (metade das desintegrações por minuto da amostra inicial) até a curva e, a partir dessa curva, uma linha reta vertical até o eixo do tempo, é possível determinar a meia-vida do tecnécio-99, que é de aproximadamente 6 horas. É aceitável que os estudantes cheguem a valores próximos a esse.

11. a. Para a resolução dessa atividade, sugira aos estudantes que retomem o conteúdo sobre ondas e suas características no capítulo 18. Para determinar a frequência dos raios γ, eles aplicarão a equação fundamental da ondulatória. Considerando que a radiação γ se propaga com velocidade de intensidade igual à da velocidade da luz, c, temos: $c = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$

Sendo $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s e $\lambda = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ nm, temos:

$f = \frac{3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ nm}} \therefore f = 1{,}5 \cdot 10^{19}$ Hz

b. Espera-se que os estudantes reflitam sobre a eficácia da irradiação de alimentos na redução do desperdício de alimentos e sobre a contribuição dessa tecnologia para garantir a segurança alimentar e nutricional da população, alinhando-se ao **ODS 2** (Fome zero e agricultura sustentável), que tem como objetivo principal erradicar a fome, garantir o acesso a alimentos adequados, saudáveis e suficientes durante todo o ano. O processo de irradiação ajuda a eliminar microrganismos, insetos e parasitas dos alimentos, além de retardar a maturação e a brotação dos alimentos, prolongando seu tempo de vida útil e permitindo que permaneçam frescos por mais tempo, o que contribui para a redução do desperdício e o melhor aproveitamento dos recursos naturais necessários para a produção de alimentos, como a água. Além disso, com a irradiação dos alimentos, a necessidade de conservantes químicos pode ser reduzida e a qualidade nutritiva dos alimentos, mantida.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para avaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. As atividades propostas nos capítulos podem ser usadas para avaliação formativa, como acompanhamento das aprendizagens e como subsídio para as intervenções necessárias. A seção **Atividades de fechamento** visa avaliar a aprendizagem dos principais conteúdos abordados, incluindo atividades de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Educação midiática

Esta seção possibilita o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT207**, **EM13CNT302** e **EM13CNT303**, além do trabalho interdisciplinar com Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, desenvolvendo a habilidade **EM13CHS502** (Analisar situações da vida cotidiana, estilos de vida, valores, condutas etc., desnaturalizando e problematizando formas de desigualdade, preconceito, intolerância e discriminação, e identificar ações que promovam os Direitos Humanos, a solidariedade e o respeito às diferenças e às liberdades individuais.) e com Linguagens e suas Tecnologias, favorecendo o desenvolvimento das habilidades **EM13LP31**, **EM13LP32**, **EM13LP34** e **EM13LP35**.

A seção propõe a reflexão sobre a importância de utilizar os recursos digitais de forma consciente, equilibrada, responsável e ética, e de saber como esses recursos impactam nossas vidas, seus aspectos positivos e negativos. Espera-se que os estudantes reflitam sobre seu comportamento no ambiente virtual, de maneira a preservar sua privacidade, manter sua segurança e agir com respeito.

Essa é uma oportunidade para você explorar novas abordagens pedagógicas e vivenciar experiências diferenciadas com a utilização de tecnologias de informação e comunicação. Durante o desenvolvimento das atividades propostas, é possível promover e facilitar uma cultura de aprendizagem que estimule a curiosidade e o aprendizado contínuo, engajando os estudantes na participação cidadã.

Para iniciar a discussão sobre o tema e incentivar a participação de todos os estudantes, pergunte a eles sobre os hábitos de uso do celular e sobre o acesso à internet. Incentive-os a utilizar os recursos disponíveis nos *smartphones* que monitoram o tempo de uso diário.

A seguinte atividade pode ser interessante para que os estudantes analisem como eles usam os recursos de mídia no ambiente virtual. Utilizando a cartilha da referência suplementar a seguir, você pode propor aos estudantes que respondam ao *quiz* 2. CUNHA, J. A.; NEJM, R. (org.). **Diálogo virtual 2.0**: Preocupado com o que acontece na internet? Quer conversar? 4. ed. Salvador: SaferNet Brasil, 2015. Disponível em: https://new.safernet.org.br/sites/default/files/content_files/Di%C3%A1logo_Virtual_Low_Web_SN_Unicef_PFDC_CGI.pdf. Acesso em: 1º out. 2024.

Na **Ampliação de repertório**, para introduzir formalmente o conceito de cidadania digital, discuta com os estudantes as diferentes formas de interação nas redes sociais (curtidas, comentários e compartilhamentos). Questione se eles sabem o que é e como identificar o *bullying* e o *cyberbullying*, e o que é considerado discurso de ódio. Converse sobre práticas de segurança e privacidade

nas plataformas digitais e a busca por uma dieta informacional equilibrada e oriente-os para a realização de uma pesquisa sobre o tema, sugerindo que eles sistematizem os dados pesquisados. Eles podem fazer isso no caderno, com notas autoadesivas em uma parede reservada da sala de aula, em um painel, ou utilizando ferramentas digitais, como editores de texto, imagem ou *softwares* de apresentação, como os editores de *slides*.

Caso tenha necessidade de se atualizar sobre o tema, sugerimos o material disponibilizado no programa de formação *on-line* "Cidadão digital para educadores!" (Disponível em: https://www.safernet.org.br/site/cidadao-digital/formacao/0. Acesso em: 1º out. 2024.), com materiais educativos sobre cidadania digital, uma iniciativa em parceria com o governo do Reino Unido para apoiar professores, escolas e secretarias de educação na implementação da cidadania digital e estimular o uso seguro, ético e responsável das tecnologias.

Na **Produção de conteúdo**, você pode compartilhar um passo a passo de como fazer um fanzine. Os estudantes podem se dividir em grupos e cada um pode ficar encarregado de uma tarefa diferente, como fazer as pesquisas de conteúdo, revisar e conferir as informações, selecionar as imagens para compor o fanzine ou ilustrá-las e planejar a divulgação do fanzine. Essa produção favorece o desenvolvimento das **competências gerais 4**, **5**, **6**, **8**, **9** e **10**. Se possível, apresente aos estudantes o vídeo MIS. **Educa MIS – tutorial**: como fazer um fanzine. São Paulo: Museu da Imagem e do Som, 6 set. 2023. 1 vídeo (4 min 20 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=78-fT6zr9lQ. Acesso em: 3 nov. 2024. O vídeo apresenta um tutorial para a elaboração de um fanzine.

A proposta dessa produção é que os estudantes reflitam sobre seu comportamento no ambiente virtual, sobre a importância de uma dieta informacional equilibrada, de boas práticas na internet, conheçam formas de se proteger e a quem recorrer se estiverem passando por situações de *bullying* e *cyberbullying*, e compartilhem o conhecimento construído com a comunidade, divulgando a importância da cidadania digital.

A **Autoavaliação** é um processo que contribui para a autonomia do estudante e para a construção do aprendizado. As rubricas são uma possibilidade de organizar e estabelecer alguns parâmetros para facilitar a reflexão dos estudantes a respeito dos critérios utilizados no processo. Caso considere pertinente, monte uma tabela de rubricas considerando os níveis de desempenho: avançado, adequado, básico e iniciante para cada um dos critérios sugeridos.

UNIDADE 6 MUNDO TECNOLÓGICO

A abertura apresenta o Grande Colisor de Hádrons, um dispositivo tecnológico que aplica conceitos do Eletromagnetismo e da Física Quântica para o estudo de partículas fundamentais da matéria, suas interações e leis que regem o mundo subatômico. Inicie a aula solicitando aos estudantes que observem a imagem do detector de partículas ALICE e compartilhem suas impressões sobre o que ele representa e sobre seu impacto no avanço do conhecimento científico. Discuta com eles a importância do fortalecimento da pesquisa científica e do incentivo à inovação para o desenvolvimento do **ODS 9** (Indústria, Inovação e Infraestrutura). Incentive a reflexão sobre o uso de algoritmos de inteligência artificial na análise e no processamento de dados científicos. Essa discussão inicial pode ajudar a avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes, retomando conceitos importantes para o desenvolvimento dos capítulos desta unidade. Se possível, consulte as aberturas das unidades 6 dos volumes de Biologia e de Química desta coleção, faça um planejamento prévio para trabalhar de forma interdisciplinar com os outros professores da área de Ciências da Natureza, discutindo as aplicações do Eletromagnetismo e da Física Quântica no desenvolvimento de inovações na Biotecnologia e na Nanotecnologia.

1. As principais partículas são os prótons, nêutrons e elétrons.
2. Para que um material seja um bom condutor, é necessária a presença de elétrons livres que podem se mover facilmente.
3. O campo magnético é uma região ao redor de um ímã onde forças magnéticas podem ser sentidas.
4. Não é possível determinar simultaneamente e com precisão a posição e a quantidade de movimento de uma partícula como o elétron. Essa impossibilidade de determinação se deve ao princípio da incerteza de Heisenberg.

Capítulo 21 Eletrostática

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Reconhecer os diferentes processos de eletrização.
- Reconhecer as propriedades isolantes e condutoras dos materiais para compreender e adequar o seu uso em diferentes aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas.
- Analisar sistemas em que ocorre a variação da energia potencial eletrostática.
- Analisar questões, elaborar hipóteses e previsões usando modelos explicativos que permitam compreender fenômenos elétricos por meio de conceitos de Eletricidade, além de interpretar modelos explicativos para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2; 4; 5
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT301; EM13CNT306; EM13CNT307

Sugestões didáticas

Sugerimos que o estudo do capítulo seja conduzido por meio da aprendizagem cooperativa, usando o método *jigsaw*. Para obter informações mais detalhadas acerca desse método de aprendizagem, consulte o artigo da referência suplementar FATARELI, E. F.; FERREIRA, L. N. de A.; FERREIRA, J. Q.; QUEIROZ, S. L. Método cooperativo de aprendizagem *jigsaw* no ensino de cinética química. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 3, 2010. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc32_3/05-RSA-7309_novo.pdf. Acesso em: 18 out. 2024.

Solicite aos estudantes que leiam o artigo FIORAVANTI, C. Eletricidade – No ar, na água, por toda parte. **Revista Pesquisa Fapesp**, edição 158, São Paulo, abr. 2009. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/eletricidade-no-ar-na-agua-por-toda-parte/. Acesso em: 18 out. 2024. Após essa leitura, procure verificar se eles compreenderam a complexidade dos fenômenos que envolvem Eletrostática, que estão presentes no cotidiano e na natureza. Verifique se compreenderam a ideia de neutralidade e não neutralidade elétrica. Se possível, incentive

os estudantes a manipular o simulador indicado no **Fique por dentro** "Balões e eletricidade estática" para simular alguns processos de eletrização. Além de complementar o conteúdo abordado, essa atividade favorece o trabalho com a **competência geral 5**, promovendo o uso de tecnologias digitais para apoiar a aprendizagem.

Defina o que são os fenômenos eletrostáticos e, em seguida, apresente a pergunta investigativa: "Quais são as características dos fenômenos eletrostáticos?". Os estudantes podem discutir o assunto de acordo com seus conhecimentos prévios, registrando suas conclusões no caderno, para em outro momento compará-las com o novo conhecimento desenvolvido ao longo do capítulo, trabalhando as **competências gerais 2** e **4**.

Ao apresentar os tópicos "Condutores e isolantes" e "Processos de eletrização", certifique-se de que os estudantes retomem os conceitos de modelo atômico estudados nos Anos Finais do Ensino Fundamental e identifiquem a diferença entre um átomo carregado e um átomo neutro. Apresente a diferença entre um material isolante e um material condutor, como se dá a eletrização de um corpo e a diferença entre os processos de eletrização. Questione: "Como um material pode ficar carregado positivamente ou negativamente?"

Proponha aos estudantes que reconheçam as propriedades isolantes e condutoras dos materiais para compreender e adequar o seu uso em diferentes aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**.

No tópico "Força entre cargas elétricas e a lei de Coulomb", é importante que os estudantes conheçam as forças atrativas e repulsivas, o vetor força elétrica e a relação entre a intensidade da força elétrica e a distância entre as cargas elétricas. Para aprofundar o trabalho com esse tópico, você pode questionar: "Qual é a intensidade da força elétrica no interior do átomo, considerando que as distâncias são muito pequenas? Seriam elas as responsáveis por manter os átomos ligados?". Ao propor a análise de questões e a elaboração de hipóteses e de previsões usando modelos explicativos que permitem compreender fenômenos elétricos por meio de conceitos de eletricidade, além de interpretar modelos explicativos para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica, é possível desenvolver a habilidade **EM13CNT301**.

Para dar início ao estudo do tópico "Campo elétrico", peça aos estudantes que leiam o artigo indicado no **Fique por dentro** "Eletricidade e tempestades" e discutam o papel das cargas elétricas e das interações entre elas nos processos de eletrificação das nuvens e de formação de relâmpagos e descargas elétricas. Se julgar pertinente, peça que pesquisem o gerador de Van de Graaff e relacionem o processo de eletrização por atrito que ocorre no gerador e o processo de eletrificação das nuvens.

Proponha aos estudantes que avaliem os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos de eletricidade para justificar comportamentos de segurança, que visem à integridade física individual e coletiva, estimulando o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**.

Para verificar a aprendizagem dos estudantes, peça a eles que, em grupos, resolvam as atividades propostas nas seções **Aplique e registre** e **Atividades de fechamento**. Ao final da resolução, proponha uma correção coletiva das atividades, verificando a compreensão dos conceitos estudados. Após essa verificação, você pode retomar os pontos que considerar importantes.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. a. Não. Quando as canetas são atritadas uma na outra, elas não se eletrizam. Por serem feitas do mesmo material, não existe entre elas diferença na tendência de perder ou ganhar elétrons. No caso da caneta atritada no cabelo ou no tecido, a caneta eletrizada atrai os pedacinhos de papel por indução eletrostática.

b. O primeiro fenômeno físico importante é a eletrização por atrito entre a caneta e o cabelo. Nesse processo, os corpos se eletrizam com cargas elétricas de sinais opostos, pois um corpo perde elétrons para o outro. A indução eletrostática é outro fenômeno que pode ser relacionado ao que é observado nessa experiência.

2. A esfera está carregada positivamente, portanto estão faltando elétrons nela. O número de elétrons faltantes é dado por: $Q = n \cdot e \Rightarrow 5 = n \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \therefore n \simeq 3 \cdot 10^{19}$ elétrons

3. Alternativa **a**. Ao aproximar a carga elétrica carregada negativamente da esfera condutora neutra, os elétrons da esfera são repelidos para a face oposta. Quando aterramos a esfera, esses elétrons são expulsos do corpo, fazendo com que ela fique positivamente carregada. A partir desse ponto temos duas situações: se afastarmos a carga Q mantendo o aterramento, a esfera condutora ficará eletricamente neutra; se afastarmos a carga Q somente depois de desfazer o aterramento, a esfera permanecerá carregada com carga elétrica positiva.

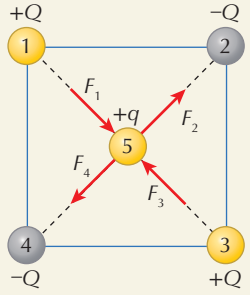
4. a. Sendo $F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$, da lei de Coulomb, temos:

$$F'_{el.} = k \cdot \frac{3Q_1 \cdot Q_2}{(3d)^2} \Rightarrow F'_{el.} = k \cdot \frac{3}{9} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow F'_{el.} = \frac{1}{3} \cdot F$$

b. Analogamente:

$$F''_{el.} = k \cdot \frac{4Q_1 \cdot 2Q_2}{(3d)^2} \Rightarrow F''_{el.} = k \cdot \frac{8}{9} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow F''_{el.} = \frac{8}{9} \cdot F$$

5. a. Os pares de esferas (1, 5) e (3, 5) têm carga elétrica de mesmo sinal e, portanto, repelem-se mutuamente. Os pares de esferas (2, 5) e (4, 5) têm carga elétrica de sinais opostos e, portanto, atraem-se mutuamente.



ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA

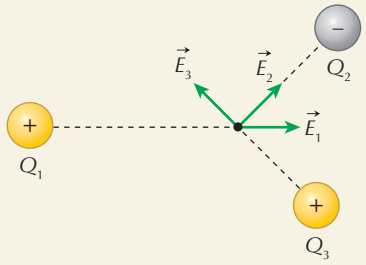
b. Aplicando a lei de Coulomb aos vários pares de cargas, e considerando que a distância entre as cargas é d (metade da diagonal), temos:

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = \frac{k \cdot |Q| \cdot |q|}{d^2}$$

Note que em cada diagonal as duas forças opostas se anulam. Logo, a força resultante sobre a esfera de número 5 é nula: $\vec{F}_R = \vec{0}$.

6. O vetor campo elétrico gerado por cargas pontuais tem a direção da reta que une a carga ao ponto e terá sentido de afastamento em relação à carga positiva e de aproximação para a carga negativa. Assim, os vetores $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ e $\vec{E}_3$ podem ser representados como na figura a seguir.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



7. A força elétrica tem intensidade dada por:

$F_{el.} = |q| \cdot E \Rightarrow F_{el.} = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{5}$

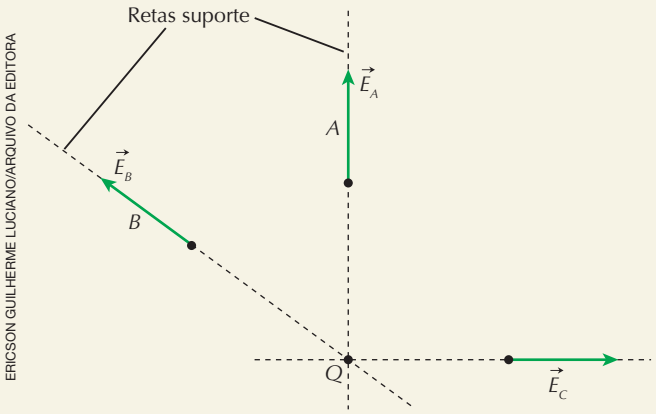
$\therefore F_{el.} = 6{,}0 \cdot 10^{-1}$ N

Sua direção e seu sentido são iguais aos de $\vec{E}$.

Note que a força elétrica e o campo elétrico têm o mesmo sentido quando a carga de prova q é positiva.

8. **a.** Tracemos, inicialmente, as retas suportes dos vetores $\vec{E}_A$ e $\vec{E}_B$. A intersecção dessas retas determina a localização da carga fonte Q, ou seja, da carga geradora do campo elétrico.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ARQUIVO DA EDITORA



b. Ao observarmos que os vetores campo elétrico são de afastamento em relação à carga fonte Q, concluímos que a carga geradora tem sinal positivo ($Q > 0$).

c. O vetor campo elétrico $\vec{E}_C$ deve ser representado observando que também será um vetor campo elétrico de afastamento em relação à carga fonte (ver figura).

9. **a.** O potencial elétrico do ponto A é o mesmo que o do ponto B, pois ambos os pontos pertencem a uma mesma superfície equipotencial, portanto o trabalho nesse deslocamento é nulo. De fato: $\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$

Como $V_A = V_B = 8{,}0$ V, o trabalho da força elétrica é: $\tau_{AB} = q \cdot 0 \Rightarrow \tau_{AB} = 0$

b. No deslocamento de A até D, temos:

$\tau_{AD} = q \cdot (V_A - V_D) \Rightarrow \tau_{AD} = 2{,}5 \cdot 10^{-9} \cdot (8{,}0 - 6{,}0)$

$\therefore \tau_{AD} = 5{,}0 \cdot 10^{-9}$ J ou 5,0 nJ

10. Para o par de cargas idênticas $+Q$ e $+Q$ (ambas positivas), a energia potencial eletrostática é calculada por:

$E_{p\,el.} = k \cdot \frac{Q \cdot Q}{d} = 10$ J

Para o par de cargas $+Q$ e $-Q$, de sinais opostos, temos:

$E_{p\,el.} = k \cdot \frac{Q \cdot (-Q)}{d} = -10$ J

Para o sistema, temos 3 pares de cargas: $(+Q; +Q)$, $(+Q; -Q)$ e $(-Q; +Q)$, cujas energias potenciais eletrostáticas valem respectivamente +10 J, –10 J e –10 J. A energia potencial do sistema formado pelas três cargas é dada pela soma algébrica das energias individuais de cada par.

$E_{p\,el.} = +10\text{ J} - 10\text{ J} - 10\text{ J} \therefore E_{p\,el.} = -10\text{ J}$

Em foco

Para iniciar a discussão, peça aos estudantes que exemplifiquem alguns dos fenômenos relacionados à ação de forças elétricas. Em seguida, proponha que pesquisem o funcionamento das televisões de tubo de raios catódicos e dos aceleradores de partículas, como o LHC, apresentado na abertura desta unidade. Pergunte quais similaridades eles identificam entre esses dois dispositivos tecnológicos e se podem identificar os conceitos estudados até aqui aplicados no desenvolvimento desses dispositivos. Por fim, se julgar conveniente, utilize a proposta do artigo VIDAL, X. C.; MANZANO, R. C. O LHC ajudando a entender conceitos de eletrostática no Ensino Médio. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010. Disponível em: http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol11-Num2/a061.pdf. Acesso em: 18 out. 2024. Segundo os autores, tratar de aspectos da Física atual pode ajudar os estudantes a relacionar a Física estudada em sala de aula com aquilo que os cientistas fazem. Converse com eles para que todos compreendam do que se trata o LHC (Grande Colisor de Hádrons ou *Large Hadron Collider*, em inglês), caso contrário, a atividade poderá fazer sentido para uns e para outros, não.

1. O comportamento semelhante de forças de diferentes naturezas.

2. Que as partículas subatômicas se comportam como cordas vibrantes, que vibram em diferentes frequências.

3. Não. Tem aplicações tecnológicas no desenvolvimento de dispositivos de uso cotidiano.

4. Espera-se que os estudantes reflitam sobre a importância dos centros de pesquisa para o desenvolvimento científico e de inovações tecnológicas, para fomentar a colaboração científica e a formação de novos cientistas, sendo um ambiente propício para que jovens pesquisadores desenvolvam suas habilidades. Em centros de pesquisa são realizadas pesquisas de ponta e com aplicações práticas (nas áreas de Medicina, Energias renováveis, Gestão de recursos naturais e Agronomia, entre outras) que contribuem para a solução de problemas atuais e para o desenvolvimento social e econômico do país. Por isso, o financiamento público nesse tipo de iniciativa é importante.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**. Quando os balões se aproximam das duas extremidades, simultaneamente, eles repelem elétrons dessas regiões. Esses elétrons repelidos das latas 1 e 3 migram para a lata do meio, a lata 2. Desse modo, as latas 1 e 3 ficarão com déficit de elétrons (carga total positiva), enquanto a lata 2 ficará com excesso de elétrons (carga total negativa).

2. Primeiro, colocamos em contato as esferas C_1 e C_2. Após o contato, ambas estarão com cargas $\frac{Q}{2}$. Em seguida, colocamos as esferas C_2 e C_3 em contato. Após o contato, ambas estarão com carga $\frac{Q}{4}$.

3. **a.** A força elétrica tem a mesma intensidade nas duas esferas, independentemente do valor das cargas.

b. Da lei de Coulomb, temos:

$F = k \cdot \frac{|Q_A| \cdot |Q_B|}{d^2} \Rightarrow F = 9{,}0 \cdot 10^{9} \cdot \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6}}{(2{,}0)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow F = \frac{18{,}0 \cdot 10^{-3}}{4{,}0} \therefore F = 4{,}5 \cdot 10^{-3}$ N

4. Dada a distância de 20 cm = $20 \cdot 10^{-2}$ m, aplicando a lei de Coulomb, temos:

$$F_{el.} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow F_{el.} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-9}}{(20 \cdot 10^{-2})^2}$$

$$\therefore F_{el.} \simeq 81 \text{ N}$$

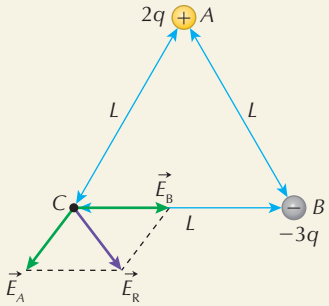
5. Considerando o ponto do gráfico em que $d = 1{,}5$ m e $F_{el.} = 3{,}6 \cdot 10^{-2}$ N, temos:

$$F_{el.} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow 3{,}6 \cdot 10^{-2} = 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \frac{2Q_1^2}{1{,}5^2}$$

$$\therefore Q_1 \simeq 2{,}12 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

6.

ERICSON GUILHERME LUCIANO/ ARQUIVO DA EDITORA



$$E_A = \frac{k \cdot |q_A|}{L^2} \Rightarrow E_A = \frac{k \cdot 2q}{L^2} \therefore E_A = 2 \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}$$

$$E_B = \frac{k \cdot |q_B|}{L^2} \Rightarrow E_B = \frac{k \cdot 3q}{L^2} \therefore E_B = 3 \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}$$

Considerando que o ângulo entre os vetores campo elétrico $\vec{E}_A$ e $\vec{E}_B$ é de 120°, aplicando a lei dos cossenos, para a intensidade do campo elétrico resultante no ponto *C*, temos:

$$E_R^2 = E_A^2 + E_B^2 + 2 \cdot E_A \cdot E_B \cdot \cos\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_R^2 = \left(2 \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}\right)^2 + \left(3 \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}\right)^2 +$$

$$+ 2 \cdot \left(2 \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}\right) \cdot \left(3 \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}\right) \cdot \cos 120° \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_R^2 = 13 \cdot \left(\frac{k \cdot q}{L^2}\right)^2 - 6 \cdot \left(\frac{k \cdot q}{L^2}\right)^2 \therefore E_R = \sqrt{7} \cdot \frac{k \cdot q}{L^2}$$

7. Alternativa **c**.

$$F_{el.} = q \cdot E \Rightarrow F_{el.} = 0{,}02 \cdot 800 \therefore F_{el.} = 16 \text{ N}$$

Do teorema da energia cinética, temos:

$$\Delta E_c = \tau_{F_{el.}} \Rightarrow E_{c(final)} - E_{c(inicial)} = F_{el.} \cdot d \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{c(final)} - 0 = 16 \cdot 0{,}25 \therefore E_{c(final)} = 4 \text{ J}$$

8. Alternativa **b**. O campo elétrico é uniforme, assim:

$$E_0 \cdot d = U \Rightarrow 4{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-6} \therefore U = 2{,}0 \cdot 10^{-7} \text{ V}$$

9. Alternativa **b**. O campo elétrico é uniforme (linhas de força paralelas e equidistantes entre si).

$$U = E \cdot d \Rightarrow d = \frac{U}{E} \Rightarrow d = \frac{1{,}5}{10^{-6}} \therefore d = 1{,}5 \cdot 10^6 \text{ m}$$

10. Alternativa **d**. No final, temos três cargas positivas nos vértices de um triângulo equilátero; portanto, precisamos adicionar cada uma das contribuições para a energia potencial eletrostática.

$$E_{p\,el.\,(II)} = \frac{k \cdot q^2}{r} + \frac{k \cdot q^2}{r} + \frac{k \cdot q^2}{r} = \frac{3k \cdot q^2}{r}$$

Na primeira situação temos, na mesma configuração, duas cargas positivas e uma negativa. Então:

$$E_{p\,el.\,(I)} = \frac{k \cdot q^2}{r} - \frac{k \cdot q^2}{r} - \frac{k \cdot q^2}{r} = -\frac{k \cdot q^2}{r}$$

Portanto, a variação de energia potencial nas duas configurações será:

$$E_{p\,el.\,(II)} - E_{p\,el.\,(I)} = \frac{3k \cdot q^2}{r} - \left(-\frac{k \cdot q^2}{r}\right) = \frac{4k \cdot q^2}{r}$$

11. a. Os pontos *A* e *B* pertencem às superfícies equipotenciais cujos potenciais elétricos valem, respectivamente, $V_A = 100$ V e $V_B = 20$ V.

Logo: $V_A - V_B = 100 \text{ V} - 20 \text{ V} = 80 \text{ V}$

b. A intensidade da força elétrica atuante será dada por:

$$F_{el.} = |q| \cdot E \Rightarrow F_{el.} = 4{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}0 \cdot 10^2 \therefore F_{el.} = 1{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

c. O trabalho da força eletrostática é:

$$\tau_{AB} = q \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow \tau_{AB} = 4{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 20)$$

$$\therefore \tau_{AB} = 3{,}2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

Capítulo 22 Eletrodinâmica

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar transformações em sistemas envolvendo energias elétrica e térmica para prever comportamentos em situações cotidianas e promover a sustentabilidade.
- Investigar o funcionamento de equipamentos elétricos e analisar circuitos elétricos, compreendendo tecnologias contemporâneas e seus impactos.
- Aplicar a lei de Ohm e analisar a resistividade elétrica de condutores para compreender as propriedades dos materiais e avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações.
- Realizar previsões sobre componentes de circuitos elétricos, analisando processos de transformação e condução de energia, para resolver problemas sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 1; 2; 4; 5
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT107; EM13CNT301; EM13CNT306; EM13CNT307; EM13CNT308

Sugestões didáticas

Você pode iniciar o estudo deste capítulo propondo que os estudantes analisem como a Eletrodinâmica se distingue da Eletrostática, estudada anteriormente. Explique como as cargas elétricas se comportam em fenômenos relacionados à Eletrostática e à Eletrodinâmica. É importante já destacar que, para a ocorrência do movimento ordenado de elétrons, como é o caso da corrente elétrica, é necessária uma fonte de energia elétrica (a diferença de potencial entre seus terminais é o que fará com que os elétrons se movimentem de forma ordenada).

Ao apresentar o tópico "Efeito Joule", proponha a análise de transformações de energia elétrica e térmica e de como esse fenômeno pode ser aplicado em situações cotidianas, favorecendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT101**.

Nos tópicos "Circuitos elétricos", "Resistores" e "Associação de resistores" podem ser desenvolvidas as habilidades **EM13CNT107**, propondo aos estudantes que realizem previsões sobre o funcionamento de elementos de um circuito elétrico, como baterias e resistores, e **EM13CNT301**, de maneira geral, quando se pede aos estudantes que analisem questões, elaborem hipóteses e previsões usando modelos explicativos sobre a corrente elétrica que permitem descrever situações envolvendo resistores, além de interpretar dados para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica. O estudo da resistividade elétrica e de suas

diferentes aplicações favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT307**, pois propõe aos estudantes que analisem a resistividade elétrica de condutores para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas.

O tópico "Lei de Ohm" favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, ao discutir os riscos envolvidos em atividades cotidianas, como o uso de equipamentos elétricos e comportamentos de segurança visando à integridade física individual e coletiva.

Na abordagem dos circuitos elétricos, serão trabalhadas as habilidades **EM13CNT107**, ao propor aos estudantes que realizem previsões sobre o funcionamento de componentes de um circuito elétrico com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos, e **EM13CNT308**, pois se propõe a analisar o funcionamento de circuitos elétricos para compreender as tecnologias contemporâneas.

Atividade complementar

Instalações elétricas e seus riscos

Para aprofundar as discussões sobre circuitos elétricos, seu funcionamento na rede elétrica residencial e os riscos envolvidos, a seguinte atividade pode ser realizada com os estudantes, promovendo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**.

Sugira aos estudantes que leiam individualmente o trecho da notícia a seguir, que trata dos principais motivos que levam aos choques elétricos e incêndios residenciais. Em seguida, em grupos de três ou quatro integrantes, peça que eles discutam e respondam às questões propostas. Se considerar pertinente, proponha aos estudantes que elaborem um guia informativo ou um cartaz para a conscientização sobre os riscos relacionados às instalações elétricas, a ser publicado em alguma plataforma digital da escola ou impresso e afixado em um mural, podendo ser divulgado para toda a comunidade escolar.

Gambiarra é a causa mais comum de choques em casa

Tomadas mal instaladas, cheias de benjamins e gambiarras e má distribuição de carga são algumas das causas de choques domésticos. Segundo o Anuário de 2019 da Associação Brasileira de Conscientização para Perigos da Eletricidade (Abracopel), os eventos com choque elétrico lideram o *ranking* de acidentes de origem elétrica no país, seguidos pelos incêndios por sobrecarga.

Segundo o clínico geral Arnaldo Lichtenstein, muita gente toma choque elétrico, tanto dentro de casa quanto fora de casa. "Dentro de casa, a maior causa de choque elétrico é a gambiarra. Eletricidade é com o eletricista. Não tente improviso em casa."

[...]

Quem nunca ligou vários aparelhos elétricos ao mesmo tempo dentro da casa? Mas será que a rede elétrica está preparada para suportar tanta demanda? O engenheiro eletricista da Universidade Federal de Goiás Jovanilson Faleiro de Freitas alerta para o perigo da sobrecarga de eletrodomésticos.

"Dentro de casa eu tenho que ter um cuidado para entender se a minha rede elétrica está compatível para aquele tanto de equipamentos que estou ligando dentro de casa", explica o engenheiro. [...]

[Um] hábito perigoso é ligar vários aparelhos na mesma tomada. "Dependendo de como foi feita a instalação, da fiação, pode gerar um ponto quente, que vira um curto-circuito." A saída é usar sempre um filtro de linha (régua). "Ele vem com informação do nível de potência, quantos equipamentos eu posso ligar. A proteção vai atuar e não deixar queimar nenhum dos equipamentos."

Fonte: GAMBIARRA é a causa mais comum de choques em casa. **G1**. Bem estar. São Paulo, 16 jan. 2020. Disponível em: https://g1.globo.com/bemestar/noticia/2020/01/16/gambiarra-e-a-causa-mais-comum-de-choques-em-casa.ghtml. Acesso em: 31 out. 2024.

Após a leitura da notícia, peça aos estudantes que, em grupos, respondam às questões a seguir.

- Como são as instalações elétricas na residência de vocês? Vocês fazem esses tipos de gambiarra? Por quê?

  Comente com os estudantes que muitas casas foram projetadas quando o número de eletrodomésticos e eletrônicos era muito menor do que os de hoje e podem não ter tomadas suficientes para ligar todos os aparelhos. Além disso, o uso de adaptadores e benjamins não é feito seguindo as especificações de segurança.
- Por que as gambiarras oferecem risco ao sistema elétrico de residências?

  Comente com os estudantes que gambiarras são soluções improvisadas e podem levar a curtos-circuitos e acidentes. O uso de benjamins e réguas sem que as especificações de segurança sejam seguidas pode levar à sobrecarga da instalação elétrica. Fios expostos e mal isolados podem causar choques elétricos. A falta de aterramento é outra gambiarra que pode levar a acidentes graves.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. $i = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{2\text{ C}}{10\text{ s}} \therefore i = 0{,}2\text{ A}$

2. **a.** A quantidade de carga total é:

$q = n \cdot e \Rightarrow q = 150 \cdot 10^{13} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \therefore q = 240\ \mu\text{C}$

A intensidade média da corrente elétrica é:

$i = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{240 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \therefore i = 120\text{ mA}$

b. Fibrilação ventricular, inconsciência, paralisia respiratória, marcas visíveis.

3. O efeito Joule ocorre quando corrente elétrica passa por um material condutor e parte da energia elétrica é transformada em energia térmica, causando aquecimento. Possíveis aplicações tecnológicas: aquecedores elétricos, chuveiros elétricos, fusíveis, fornos elétricos.

4. Resistores ôhmicos obedecem à lei de Ohm e têm resistência elétrica constante. Resistores não ôhmicos não têm resistência elétrica constante.

5. **a.** $U = R \cdot i \Rightarrow R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{1{,}5}{0{,}3} \therefore R = 5{,}0\ \Omega$

O sentido convencional da corrente elétrica é do polo positivo para o polo negativo da bateria (sentido horário na figura).

b. $U = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{12{,}0}{5{,}0} \therefore i = 2{,}4\text{ A}$

O sentido convencional da corrente elétrica é do polo positivo para o polo negativo da bateria (sentido horário na figura).

6. A corrente elétrica que passa por todos os resistores é a mesma. A tensão elétrica total fornecida ao circuito é dividida entre os resistores de acordo com a sua resistência elétrica individual. A resistência elétrica equivalente da

associação é a soma das resistências elétricas individuais de cada resistor. A resistência equivalente é sempre maior do que qualquer uma das resistências elétricas individuais.

7. Cada trecho apresenta caminho único a ser percorrido por corrente elétrica, portanto a intensidade das correntes elétricas é a mesma em todos os resistores, o que caracteriza associações em série.

8. Em paralelo. A resistência elétrica equivalente na associação em paralelo desses resistores é menor, portanto a intensidade de corrente elétrica é maior para a mesma tensão aplicada.

9. Para o primeiro trecho do circuito, temos:
$R_{eq.(1)} = \frac{10,0}{2} \therefore R_{eq.(1)} = 5,0\ \Omega$
Para o segundo trecho do circuito, temos:
$R_{eq.(2)} = \frac{6,0 \cdot 3,0}{6,0 + 3,0} = \frac{18,0}{9,0} \therefore R_{eq.(2)} = 2,0\ \Omega$
Assim, para a associação mista, temos:
$R_{eq.} = 5,0\ \Omega + 1,0\ \Omega + 2,0\ \Omega \therefore R_{eq.} = 8,0\ \Omega$

10. $Q = C \cdot U \Rightarrow Q = 8,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \therefore Q = 12,0\ \mu C$
$E_{el.} = \frac{Q \cdot U}{2} \Rightarrow \frac{12,0\ \mu C \cdot 1,5\ V}{2} \therefore E_{el.} = 9,0\ \mu J$

11. Um gerador elétrico real tem resistência elétrica interna, o que resulta em dissipação de energia durante a conversão de energia química para energia elétrica, por exemplo. Já um gerador elétrico ideal não tem resistência interna, o que significa que não ocorre dissipação de energia. O gerador ideal é um caso exclusivamente teórico.

12. É a condição em que ocorre uma conexão direta entre os terminais do gerador elétrico, ou seja, os polos positivo e negativo são interligados por um fio de resistência elétrica desprezível. Essa ação estabelece um fluxo de corrente elétrica muito intenso e potencialmente perigoso.

13. $P = \frac{E_{el.}}{\Delta t} \Rightarrow E_{el.} = P \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el.} = 2.400 \cdot 0,33 \therefore E_{el.} = 0,8\ kWh$

14. **a.** 3,7 V: força eletromotriz da bateria; 7,4 Wh: energia total acumulada na bateria quando totalmente carregada.
b. $P = U \cdot i \Rightarrow i = \frac{P}{U} \Rightarrow i = \frac{0,5}{3,7} \therefore i \simeq 0,1\ A$
c. $U = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow U = 3,7 - 0,5 \cdot 0,1 \therefore U \simeq 3,6\ V$

15. Respostas possíveis: ventilador, liquidificador, batedeira de bolo e espremedor elétrico de frutas.

16. Um motor elétrico é um exemplo clássico de receptor. Assim:
$U = \varepsilon' + r' \cdot i \Rightarrow 127 = \varepsilon' + 3,0 \cdot 12 \Rightarrow$
$\Rightarrow 127 = \varepsilon' + 36 \therefore \varepsilon' = 91\ V$

Em foco

1. A melhoria dos filamentos de carbono nas lâmpadas incandescentes, o que possibilitou o desenvolvimento de um filamento mais durável e resistente ao calor.

2. A venda de lâmpadas incandescentes foi proibida no Brasil por causa da publicação de uma portaria que estabeleceu um limite mínimo de eficiência luminosa para a comercialização de lâmpadas, que acabou substituindo esse modelo por lâmpadas fluorescentes, que são mais eficientes.

3. Resposta pessoal. A atividade propõe uma discussão sobre a contribuição do engenheiro Lewis Howard Latimer (1848-1928) no desenvolvimento das lâmpadas elétricas, que se tornaram conhecidas associadas ao nome de Thomas Edison (1847-1931). Ao abordar a história da vida de Latimer, propõe-se uma reflexão sobre desigualdades racial e de gênero na história da ciência, que conta com episódios em que negros e mulheres tiveram suas contribuições ignoradas ou atribuídas a outras pessoas com maior reconhecimento em suas áreas de pesquisa. A discussão contempla a dimensão da inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião ou condição econômica, proposta pelo **ODS 10** (Redução das desigualdades). Espera-se que os estudantes reflitam sobre a importância da equidade e da representatividade para inspirar futuras gerações de cientistas de todas as origens, da diversidade de experiências, saberes e perspectivas para o desenvolvimento científico e o fortalecimento da comunidade científica.

4. Resposta pessoal. Se achar conveniente, sugira aos estudantes que pesquisem modelos mais sustentáveis de lâmpadas. Espera-se que os estudantes reflitam sobre os impactos ambientais e econômicos de diferentes tecnologias e sobre o consumo de energia elétrica.

Atividades de fechamento

1. **a.** $q = n \cdot e \Rightarrow q = 3,0 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$
$\therefore q = 4,8 \cdot 10^{-14}\ C$
b. $i = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{4,8 \cdot 10^{-14}}{2,0 \cdot 10^{-3}} \therefore i = 2,4 \cdot 10^{-11}\ A$

2. Alternativa **c**. A resistência elétrica do condutor é dada por:
$U = R \cdot i \Rightarrow R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{9}{10} \therefore R = 0,9\ \Omega$
Considerando $L = 10$ m e $A = 0,3\ mm^2 = 0,3 \cdot 10^{-6}\ m^2$, a resistividade elétrica do condutor (ρ) é dada por:
$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \Rightarrow \rho = \frac{0,9 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6}}{10} \therefore \rho = 2,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$
Da tabela, o material é o alumínio.

3. Em um resistor ôhmico, os valores da tensão e da corrente são diretamente proporcionais. Comparando-se a primeira coluna numérica com a terceira, o valor da tensão triplicou, logo $i_1 = 3 \cdot 0,1\ A = 0,3\ A$. Seguindo o mesmo raciocínio, $i_2 = 6 \cdot 0,1\ A = 0,6\ A$.

4. Alternativa **a**. Como se pretende medir a potência na lâmpada, o amperímetro deve ser ligado em série com a lâmpada.

5. **a.** $P = i \cdot U \Rightarrow i = \frac{P}{U} \Rightarrow i = \frac{6.050}{220} \therefore i = 27,5\ A$
b. $P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} \Rightarrow R = \frac{(220)^2}{6.050} \therefore R = 8\ \Omega$

6. Alternativa **a**. Para o chuveiro elétrico:
$P = \frac{7.000}{1.000} \therefore P = 7\ kW$
$\Delta t = 20\ min \cdot 30\ dias = 600\ min = 10\ h$
$E_{el.} = P \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el.} = 7 \cdot 10 \therefore E_{el.} = 70\ kWh$
$70\ kWh \cdot R\$\ 0,50 = R\$\ 35,00$
Para a lâmpada:
$P = \frac{100}{1.000} \therefore P = 0,1\ kW$
$\Delta t = 24\ h \cdot 30\ dias = 720\ h$
$E_{el.} = P \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el.} = 0,1 \cdot 720 \therefore E_{el.} = 72\ kWh$
$72\ kWh \cdot R\$\ 0,50 = R\$\ 36,00$

7. **a.** $Q = C \cdot U \Rightarrow Q = 6,0 \cdot 10^{-6} \cdot 12,0 \therefore Q = 72,0\ \mu C$
b. $E_{el.} = \frac{CU^2}{2} \Rightarrow E_{el.} = \frac{6,0 \cdot 10^{-6} \cdot (12,0)^2}{2} \therefore E_{el.} = 432,0\ \mu J$

8. Alternativa **c**.
$E_{el.} = \frac{QU}{2} \Rightarrow E_{el.} = \frac{0,10 \cdot (4 \cdot 10^3)}{2} \therefore E_{el.} = 200\ J$

9. Alternativa **d**. Podemos calcular a resistência elétrica equivalente de todo o circuito e transformá-lo em um circuito simples.

$R_{eq.} = \frac{70 \cdot 30}{70 + 30} = \frac{2.100}{100} \therefore R_{eq.} = 21\ \Omega$

Assim, a intensidade de corrente elétrica será dada por:

$i = \frac{\varepsilon}{R_{eq.}} \Rightarrow i = \frac{42}{21} \therefore i = 2{,}0\ \text{A}$

10. Alternativa **e**. Para calcular a potência dissipada, é necessário encontrar os valores da corrente e da tensão:

$P = \varepsilon \cdot i \Rightarrow i = \frac{P}{\varepsilon} \Rightarrow i = \frac{1.200{,}0}{120{,}0} \therefore i = 10{,}0\ \text{A}$

$U = r \cdot i \Rightarrow U = 4{,}0 \cdot 10{,}0 \therefore U = 40{,}0\ \text{V}$

$P_{dissipada} = r \cdot i^2 \Rightarrow P_{dissipada} = 40{,}0 \cdot (10{,}0)^2 \therefore P_{dissipada} = 400{,}0\ \text{W}$

Daí, a potência útil é:

$P_{útil} = P_{gerada} - P_{dissipada} \Rightarrow P_{útil} = 1.200{,}0 - 400{,}0 \therefore P_{útil} = 800{,}0\ \text{W}$

11. Alternativa **a**. O elemento E (8,0 V) atua como gerador e impõe o sentido da corrente elétrica no circuito (anti-horário). Assim, o dispositivo de 6,0 V será o receptor elétrico.

$i = \frac{E - E'}{\sum R} \Rightarrow i = \frac{8{,}0 - 6{,}0}{3{,}0 + 3{,}0 + 4{,}0} \Rightarrow i = \frac{2{,}0}{10{,}0} \therefore i = 0{,}20\ \text{A}$

A potência elétrica dissipada pelo resistor de 4,0 Ω é:

$P = R \cdot i^2 \Rightarrow P = 4{,}0 \cdot (0{,}20)^2 \therefore P = 0{,}16\ \text{W}$

Capítulo 23 Eletromagnetismo

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar transformações e conservações em sistemas envolvendo energia para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas.
- Avaliar tecnologias envolvendo a geração, o transporte e a distribuição de energia elétrica.
- Realizar previsões sobre o funcionamento de motores elétricos.
- Analisar questões e elaborar hipóteses e previsões aplicando conceitos de Eletromagnetismo, além de interpretar dados para obter conclusões a respeito de situações-problema sob uma perspectiva científica.
- Analisar as propriedades magnéticas de materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações cotidianas, industriais e tecnológicas.
- Investigar o funcionamento de tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais.

Por dentro da BNCC

- **Competências gerais:** 2; 4; 5; 7; 9; 10
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT107; EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT307; EM13CNT308

Sugestões didáticas

Para iniciar o estudo desse capítulo, sugira a leitura do tópico "Experimento de Oersted". Peça aos estudantes que, durante a leitura, marquem as palavras cujo significado não esteja claro. Se achar conveniente, consulte a referência suplementar: PINTO, J. A.; SILVA, A. P.; FERREIRA, E. J. Laboratório desafiador e História da Ciência: um relato de experiência com o experimento de Oersted. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 176–196, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p176/33950. Acesso em: 31 out. 2024. O artigo trata do experimento com elementos da História da Ciência.

Em grupos, peça que discutam o significado das palavras que anotaram anteriormente. Essa atividade promove o desenvolvimento das **competências gerais 4** e **9**. É importante que você destaque três conceitos principais, caso não apareçam espontaneamente na discussão dos estudantes: campo magnético, força magnética e indução.

Ao estudar o campo magnético, os estudantes compreenderão o funcionamento de uma bússola, a origem e os efeitos do campo magnético da Terra, além do funcionamento de ímãs. Também aprenderão sobre campos magnéticos gerados por correntes elétricas em fios retilíneos, espiras e solenoides.

Esse estudo desenvolve a habilidade **EM13CNT307**, pois os estudantes analisam as propriedades magnéticas dos materiais, avaliando sua adequação em diferentes aplicações cotidianas e tecnológicas.

O estudo da força magnética explora sua ação sobre partículas carregadas. Serão abordadas regras para determinar a força magnética e sua aplicação em condutores retilíneos, motores elétricos e sua relação com o funcionamento de usinas hidroelétricas. Esse estudo desenvolve as habilidades **EM13CNT107** e **EM13CNT308**, ao investigar o funcionamento de motores elétricos.

O tópico "Lei de Faraday-Neumann" favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, incentivando os estudantes a formular hipóteses e previsões sobre Eletromagnetismo, além de interpretar dados para resolver problemas científicos.

A lei de Faraday-Neumann pode ser estudada com o auxílio de simuladores digitais, como o proposto no **Fique por dentro**, promovendo a **competência geral 5**.

Antes de concluir o estudo do capítulo, proponha aos estudantes que, em grupos com quatro integrantes, realizem a proposta da seção **Na prática**. Essa é uma oportunidade de trabalhar a relação entre Eletricidade e Magnetismo e, com isso, desenvolver a habilidade **EM13CNT107**, além da **competência geral 2**.

Atividade complementar

Eletroímã simples

Objetivo

Construir um eletroímã simples para demonstrar a relação entre eletricidade e magnetismo, observando o funcionamento de ímãs temporários.

Materiais

- Prego grande de ferro ou outro objeto metálico similar
- Fio de cobre esmaltado
- Pilha ou bateria (1,5 V ou 9 V)
- Pequenos clipes de papel ou pregos

Procedimento

- Enrole o fio de cobre ao redor do prego, fazendo várias voltas, mas deixando duas extremidades do fio livres.
- Conecte as extremidades do fio aos polos da bateria.
- Com o prego magnetizado, aproxime-o dos clipes de papel ou pregos pequenos. Eles serão atraídos pelo prego, que se tornou um ímã temporário.

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. As linhas de campo magnético geradas por um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica são formadas por

círculos concêntricos ao redor do fio. A direção das linhas segue a regra da mão direita. O vetor campo magnético aponta na direção tangente às linhas de campo em cada ponto ao redor do condutor.

2. $B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d} \Rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}5} \therefore B = 4 \cdot 10^{-5}\,\text{T}$

3. Pela regra da mão direita, na figura A o campo magnético está entrando no plano da espira, formando um polo sul, e na figura B o campo está saindo do plano da espira, formando um polo norte.

4. **a.** A intensidade do campo magnético dentro de um solenoide é diretamente proporcional ao número de espiras; quando o número de espiras é aumentado, a intensidade do campo magnético também aumenta.
   b. Quando o número de espiras diminui, a intensidade do campo magnético também diminui.

5. Não. A força magnética só atua em cargas em movimento. Partículas em repouso não sentem a ação de forças magnéticas.

6. A fórmula é dada por $F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta$, em que F_m representa a força magnética, q é a carga elétrica, v é a velocidade da carga, B é a intensidade do campo magnético e θ é o ângulo formado entre as direções da velocidade e do campo magnético.

7. Se a partícula for lançada paralelamente ao campo magnético, descreverá um MRU (movimento retilíneo e uniforme). Se a partícula for lançada perpendicularmente ao campo magnético, descreverá um MCU (movimento circular e uniforme). Se a partícula for lançada obliquamente ao campo magnético, descreverá um MHU (movimento helicoidal e uniforme).

8. Nos dois casos devemos aplicar a regra da mão esquerda com o dedo médio na direção da corrente. Para o primeiro caso, temos a corrente para a direita e o campo entrando na folha, portanto a direção da força é para cima. Para o segundo caso, temos a corrente para cima e o campo entrando na folha, portanto a direção da força é para a esquerda.

9. $F_m = i \cdot \frac{L}{v} \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta \Rightarrow F_m = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 0{,}5 \cdot \text{sen}\,30^\circ \Rightarrow$
   $\Rightarrow F_m = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 \therefore F_m = 2 \cdot 10^{-3}\,\text{N}$

10. A indução eletromagnética é o fenômeno em que um campo magnético variável induz a criação de uma tensão elétrica e uma corrente elétrica em um circuito fechado próximo. A indução eletromagnética tem diversas aplicações, tais como geradores de energia elétrica, transformadores, motores elétricos, dispositivos de comunicação sem fio, leitores magnéticos (como em cartões de crédito), entre outras.

11. A lei fundamental da indução eletromagnética, conhecida como lei de Faraday, estabelece que a tensão elétrica induzida em um circuito é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético que atravessa o circuito no decorrer do tempo.

Em foco

Se possível, exiba o *trailer* do filme para proporcionar uma visão geral da obra e gerar interesse. UNIVERSAL PICTURES PORTUGAL. **"Ex_Machina"**: *trailer* oficial legendado (Portugal) HD. YouTube, 27 fev. 2015. 1 vídeo (2 min 35 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=54nzsdLPs9I. Acesso em: 3 nov. 2024.

Esta seção promove a **competência geral 7**, incentivando a reflexão crítica sobre como a ciência é representada em filmes de ficção científica e o impacto dessas representações na percepção pública. Ao comparar a coleta de dados no filme **Ex_Machina** com regulamentações reais, os estudantes desenvolvem habilidades de argumentação e debate sobre a precisão dessas representações e suas implicações, identificando os limites e exageros na representação da inteligência artificial.

1. No filme, a coleta de dados em massa e a invasão de privacidade são retratadas de maneira alarmante, mostrando a espionagem em larga escala sem restrições. Na realidade, regulamentações como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil visam proteger a privacidade dos indivíduos, estabelecendo regras claras sobre coleta, uso e armazenamento de dados pessoais. A LGPD exige consentimento explícito dos usuários e garante direitos como acesso, correção e exclusão de dados, contrastando com a abordagem muitas vezes invasiva e desregulada mostrada nos filmes.

2. A maneira dramática como o filme retrata a coleta de dados pode aumentar a preocupação pública com a privacidade e a ética na tecnologia, e pode influenciar a percepção de como os dados são usados e protegidos na realidade e de como a Ciência e a tecnologia são aplicadas.

3. A tecnologia mostrada no filme, no qual Ava usa chapas de indução para causar apagões, é fictícia e exagerada. Na realidade, carregadores de indução eletromagnética para celulares são projetados para transferir energia de forma segura, sem causar problemas elétricos. O filme pode gerar preocupações indevidas sobre os riscos dos carregadores de indução, distorcendo o entendimento público ao sugerir que eles podem causar sobrecargas e apagões, o que não é verdade na prática.

4. No filme, Ava é representada como um robô humanoide com inteligência artificial avançada, capaz de falar de forma fluida e humanizada, simular emoções e manipular pessoas. Essas representações exageram as capacidades reais da tecnologia e podem levar o público a acreditar que a IA atual tem consciência e habilidades semelhantes às mostradas no filme. No entanto, a IA baseia-se em algoritmos e padrões programados. Filmes como esse podem criar expectativas irreais e medos desnecessários sobre o que a tecnologia pode realmente fazer.

Trabalho e juventudes

Ao introduzir o tema de robótica, é possível destacar a relevância dessa tecnologia no contexto educacional e científico, pois a robótica utiliza princípios fundamentais de eletromagnetismo estudados no capítulo. O ensino de robótica, além de abordar esses conceitos, também promove o desenvolvimento de habilidades socioemocionais, preparando os estudantes tanto para desafios acadêmicos quanto para a atuação no mercado de trabalho.

1. O exoesqueleto robótico, descrito no texto, visa auxiliar no movimento dos membros inferiores de vítimas de doenças como acidente vascular cerebral (AVC), mal de Parkinson e lesão da medula espinhal. Espera-se que os estudantes percebam a importância do conhecimento científico e tecnológico para promover a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar da sociedade.

2. Pensar em como a escola pode colaborar para aumentar a participação de meninas nas áreas de estudo STEM é uma oportunidade para que os estudantes percebam que a escola deve ser um espaço colaborativo, que conta com a participação de todos para a melhoria da educação. Ao pensar em intervenções que as escolas podem fazer em diferentes âmbitos, espera-se que os estudantes concluam que para aumentar a participação feminina em STEM são necessários esforços integrados. Promova um diálogo com a turma a partir da questão levantada, permitindo que os estudantes falem livremente sobre o tema.

3. Resposta pessoal. A atividade busca a participação dos estudantes na pesquisa de projetos que incentivam a participação de meninas na robótica.

4. Resposta pessoal. Com base no que foi explanado no texto, espera-se que os estudantes percebam que o ensino de robótica possibilita estimular aptidões para as carreiras STEM, oportunizando a entrada deles nessas carreiras. Tratando-se das demandas para a sociedade, espera-se que os estudantes compreendam a relação do ensino de robótica com as carreiras STEM e como elas são importantes para o desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico, com impacto significativo na sociedade.

Na prática

1. Os fios que formam a bobina estão imersos dentro do campo magnético do ímã. Quando a corrente elétrica é estabelecida na bobina, surge uma força magnética nesses fios que será responsável pelo torque e pelo giro do motor.

2. A pilha fornece uma corrente elétrica contínua ao circuito. Com a inversão de sua polaridade, inverte-se o sentido da corrente elétrica e, como consequência, há uma inversão no sentido da força magnética. O motor passará a girar no sentido oposto ao inicial.

3. Sim. Qualquer motor elétrico em funcionamento produz campo magnético em seu entorno. Isso pode fazer a agulha de uma bússola defletir. Até mesmo cartões de banco, com tarjas eletromagnéticas, podem ser danificados se permanecerem por muito tempo nessas proximidades.

4. A inversão no sentido do campo provoca novamente inversão no sentido da força magnética (regra da mão esquerda), e o motor passará a girar em sentido oposto.

5. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes discutam o uso de materiais sustentáveis na produção dos motores, a adequação dos motores ao uso de energia (diminuindo sua rotação a depender da necessidade), o uso de fontes renováveis para gerar energia elétrica. Espera-se que os estudantes apliquem os conhecimentos construídos na atividade prática.

Atividades de fechamento

1. Alternativa **d**. A escala de cores fornecida permite-nos concluir que na região dos polos (vermelha escura) a intensidade do campo magnético tem o maior valor fornecido pela escala, ou seja, da ordem de 60.000 nanoteslas. Na região do Brasil e adjacências, que, na escala de cores corresponde ao azul escuro, a intensidade do campo magnético é de aproximadamente 20.000 nanoteslas.

   Observação: ao longo da linha do Equador, a variação vai de 20.000 nT a 45.000 nT.

   $\Delta B = 45.000 - 20.000 \therefore \Delta B = 25 \cdot 10^{-6}\,\text{T}$

   Logo: $\Delta B > 1 \cdot 10^{-6}\,\text{T}$

2. Alternativa **e**. Aplica-se, inicialmente, a regra da mão direita para os fios *A* e *B* e determinam-se as orientações dos campos magnéticos $\vec{B}_A$ e $\vec{B}_B$ no ponto médio M, sendo que $\vec{B}_A$ está para cima e $\vec{B}_B$ para baixo.

   Pela simetria do sistema e com correntes elétricas de mesma intensidade, concluímos que: $\left|\vec{B}_A\right| = \left|\vec{B}_B\right|$

   Assim: $\vec{B}_{\text{resultante}} = \vec{B}_A + \vec{B}_B = \vec{0}$

3. Alternativa **b**.

   $i = \dfrac{B \cdot L}{\mu_0 \cdot N} \Rightarrow i = \dfrac{1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 800} \therefore i \simeq 10{,}4\,\text{A}$

4. Alternativa **a**. A força magnética aponta para o centro da trajetória, e a velocidade é tangente à trajetória no sentido do movimento. Pela regra da mão esquerda invertida, já que a partícula tem carga negativa, em relação à página, o campo I está entrando, o campo II está saindo e o campo III está entrando.

5. O módulo do campo magnético no interior do solenoide será dado por $B = \dfrac{\mu \cdot N \cdot i}{L}$. A razão $\dfrac{N}{L}$ foi fornecida no enunciado e vale $\dfrac{1{,}0 \cdot 10^4}{1{,}0}$ espiras/metro, logo:

   $B = \dfrac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}0 \cdot 10^4 \cdot 4{,}0}{1{,}0} \therefore B = 4{,}8 \cdot 10^{-2}\,\text{T}$

6. Espera-se que os estudantes respondam que as lanternas que não utilizam pilhas funcionam com base na indução eletromagnética. Quando essas lanternas são balançadas, o ímã se move através da bobina do fio, e o movimento gera uma variação do fluxo magnético, que induz uma corrente elétrica, de acordo com a Lei de Faraday.

7. (01) Correta.

   $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta \Rightarrow \Phi = 0{,}5 \cdot 0{,}01 \cdot \cos 0° \therefore \Phi = 0{,}005\,\text{Wb}$

   (02) Incorreta. Considerando que a espira se movimenta com uma velocidade de 50 cm/s, ela percorre 10 cm em um intervalo de tempo de 0,2 s.

   $|\varepsilon| = \dfrac{|\Delta\Phi|}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon| = \dfrac{0{,}005}{0{,}2} \therefore |\varepsilon| = 0{,}025\,\text{V}$

   (04) Correta. Quando a espira sai da região, há uma diminuição do fluxo. Pela lei de Lenz, o sentido da corrente induzida origina um fluxo magnético induzido que se opõe à variação do fluxo magnético que a originou, ou seja, vai existir uma força magnética que se opõe a tal movimento.

   (08) Incorreta.

   $|\varepsilon| = 0{,}025\,\text{V} \Rightarrow R \cdot i = 0{,}025 \Rightarrow i = \dfrac{0{,}025}{1} \therefore i = 0{,}025\,\text{A}$

   (16) Correta. Quando a espira está totalmente imersa no campo magnético, não há variação do fluxo; logo, não há força eletromotriz ou corrente elétrica induzida.

   Portanto: $01 + 04 + 16 = 21$

8. **a.** Na situação proposta, o fluxo magnético tem intensidade máxima e pode ser determinado por:

   $\Phi_{\text{inicial}} = B_{\text{inicial}} \cdot A \Rightarrow \Phi_{\text{inicial}} = 1{,}0 \cdot 0{,}12 \cdot 10^{-4}$

   $\therefore \Phi_{\text{inicial}} = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\,\text{Wb}$

   $\Phi_{\text{final}} = B_{\text{final}} \cdot A \Rightarrow \Phi_{\text{final}} = 5{,}0 \cdot 0{,}12 \cdot 10^{-4}$

   $\therefore \Phi_{\text{final}} = 6{,}0 \cdot 10^{-5}\,\text{Wb}$

   b. $|\varepsilon| = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon| = \dfrac{\Phi_{\text{final}} - \Phi_{\text{inicial}}}{\Delta t} \Rightarrow$

   $\Rightarrow |\varepsilon| = \dfrac{6{,}0 \cdot 10^{-5} - 1{,}2 \cdot 10^{-5}}{2{,}0} \therefore |\varepsilon| = 2{,}4 \cdot 10^{-5}\,\text{V}$

   c. $i = \dfrac{\varepsilon}{R} \Rightarrow i = \dfrac{2{,}4 \cdot 10^{-5}}{4{,}0} \Rightarrow i = 0{,}6 \cdot 10^{-5} \therefore i = 6{,}0 \cdot 10^{-6}\,\text{A}$

9. Alternativa **a**. A partícula está em movimento circular, portanto há uma força centrípeta envolvida com intensidade igual à intensidade da força magnética. O raio descrito pela partícula é:

   $R = \dfrac{m \cdot v}{q \cdot B}$

   A velocidade da partícula pode ser calculada pela distância percorrida em um intervalo de tempo para dar *N* voltas.

   $v = N \cdot \dfrac{2\pi R}{t}$

   Substituindo *v* na primeira expressão, temos:

   $R = \dfrac{m \cdot \left(N\dfrac{2\pi R}{t}\right)}{q \cdot B} \Rightarrow m = \dfrac{qBt}{2\pi N}$

Capítulo 24 Elementos de Física Quântica

Objetivos de aprendizagem

Espera-se que, ao término deste capítulo, o estudante seja capaz de:

- Analisar teorias e leis propostas em diferentes épocas pela Física Clássica e pela Física Quântica.
- Analisar e interpretar questões usando conceitos de Física Quântica para elaborar conclusões a respeito de situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.

Por dentro da BNCC

- **Competência geral:** 1
- **Habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:** EM13CNT103; EM13CNT201; EM13CNT205; EM13CNT301

Sugestões didáticas

A Física Quântica, de maneira geral, propõe uma mudança de paradigma de ordem lógica e epistemológica, visando reexaminar o pensamento clássico, mostrando pontos em que ele se aproxima e pontos em que ele se afasta do pensamento quântico. É importante esclarecer que a Física Quântica trata do universo de partículas muito pequenas, da ordem de grandeza de um átomo ou menor do que ele.

Para abordar os primeiros temas apresentados no livro, considerando os problemas que deram origem à Física Quântica, sugerimos como referência suplementar o texto DAVIES, P. Como a mecânica quântica pôs em cheque a ideia de realidade. **Superinteressante**. 30 jun. 1990. Disponível em: https://super.abril.com.br/ciencia/a-revolucao-da-teoria-quantica/. Acesso em: 3 nov. 2024. A compreensão desses problemas é importante para reconhecer o caráter histórico do conhecimento científico e desenvolver a **competência geral 1**. Além disso, a análise de teorias e leis propostas em diferentes épocas é relevante para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201**.

As discussões sobre a quantização da energia e o efeito fotoelétrico são importantes para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**, pois os estudantes são levados a utilizar os conceitos da Física Quântica para elaborar conclusões sobre situações-problema e desenvolver aplicações sob uma perspectiva científica.

A **Atividade comentada** propõe a investigação de um problema que envolve o efeito fotoelétrico, comparando sua ocorrência em placas feitas de dois materiais diferentes, com o objetivo de investigar seus comportamentos e diferenças. A resolução da atividade está estruturada em uma sequência que possibilita o desenvolvimento dos pilares do pensamento computacional, ampliando a compreensão do problema proposto.

Por fim, as discussões sobre o modelo atômico de Bohr e o princípio da incerteza são importantes para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT205**, pois a compreensão dessas teorias e desses conceitos é necessária para interpretar resultados e realizar previsões e experimentos que envolvem os conceitos da dualidade onda-partícula e do princípio da incerteza de Heisenberg.

Atividade complementar

Simulando o efeito fotoelétrico

Por meio dessa atividade, é possível desenvolver as habilidades **EM13CNT205** e **EM13CNT301**.

Abra o simulador "Efeito fotoelétrico" indicado no **Fique por dentro** em um computador ou *tablet*, preferencialmente. Explore as variáveis de intensidade da luz, frequência, tensão elétrica e material da placa metálica.

Ajuste a intensidade da luz para 100%. Escolha um comprimento de onda que permita a emissão de elétrons e registre a frequência de corte para cada material testado.

Calcule a função trabalho e a frequência de corte. Utilize a equação do efeito fotoelétrico para determinar a função trabalho do metal, ajustando a tensão para observar o movimento dos elétrons.

Construa um quadro para organizar os valores encontrados para a tensão limite, a função trabalho e a frequência de corte de cada um dos materiais. A resposta depende dos valores usados e encontrados no simulador.

- Calcule o erro percentual em relação ao valor da função trabalho considerando os valores teóricos tabelados para os materiais do simulador.

  Fórmula para o cálculo do erro percentual:

$$E_{\%} = \frac{|\text{valor calculado} - \text{valor teórico}|}{\text{valor teórico}} \cdot 100$$

Resoluções e comentários

Aplique e registre

1. Um corpo negro é caracterizado pela capacidade de absorver toda a radiação que incide sobre ele.

2. **a.** A hipótese quântica de Planck propõe que a energia emitida pelas radiações eletromagnéticas é quantizada e, ou seja, dada por valores inteiros específicos, conhecidos como "pacotes de energia" (ou quantum).

b. O efeito fotoelétrico é um fenômeno físico quântico que consiste na emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto à radiação eletromagnética de frequência específica, emitindo os chamados fotoelétrons.

3. **a.** A grandeza física que estabelece a ocorrência do efeito fotoelétrico é a frequência. Apenas a partir de uma frequência específica o fenômeno pode ocorrer, denominada frequência mínima. A intensidade da radiação vai interferir no número de elétrons emitidos.

b. Função trabalho é a energia utilizada no trabalho de extração do elétron do metal, ou seja, é a energia mínima necessária para superar a atração dos átomos do metal sobre o elétron, permitindo que este escape do átomo.

4. A dualidade onda-partícula é o conceito de que elétrons e fótons têm natureza dupla, ou seja, podem comportar-se como partículas ou como ondas, dependendo do experimento. Isso significa que podem ser tanto corpos puntiformes e indivisíveis, como também ondas que se propagam em um meio.

5. Porque, para observar a posição de uma partícula, é necessário que ela interaja com, pelo menos, um fóton, e essa ação faz com que o fóton transfira parte de sua quantidade de movimento à partícula, alterando sua velocidade e posição.

6. Alternativa **c**. Os espaços são corretamente preenchidos pela sequência de palavras: Quântica, partículas, ondulatório e partículas.

Em foco

1. A nanotecnologia é um campo de estudo que se dedica à investigação das propriedades da estrutura da matéria na nanoescala. Ela é importante para o desenvolvimento e

transformação da indústria e fundamental para o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias.

2. O Brasil tem aumentado o investimento na área da nanotecnologia com a criação de programas e políticas públicas, adesão a colaborações internacionais, por exemplo.
3. As pesquisas em nanotecnologia podem impactar diversas áreas da ciência, como medicina, biologia, física e química, por exemplo.
4. O desenvolvimento da nanotecnologia pode posicionar o Brasil como um líder regional em ciência e tecnologia, aumentando as possibilidades de investimentos internacionais e colaborações científicas, que potencializam a produção do conhecimento e inovação no país.

Atividades de fechamento

1. Pela equação de Planck, a energia de um fóton na frequência de 103,7 MHz, ou seja, de $103{,}7 \cdot 10^6$ Hz, é de:

   $E_{fóton} = h \cdot f \Rightarrow E_{fóton} = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 103{,}7 \cdot 10^6$

   $\therefore E_{fóton} \simeq 6{,}9 \cdot 10^{-26}$ J

   Considerando que a potência é 200.000 W = 200.000 J/s e o valor da energia de um fóton emitido é $6{,}9 \cdot 10^{-26}$ J, o número de fótons emitido a cada segundo é:

   $n = \frac{200 \cdot 10^3}{6{,}9 \cdot 10^{-26}} \therefore n \simeq 2{,}9 \cdot 10^{30}$ fótons/s

2. Alternativa **d**. Para ocorrer o efeito fotoelétrico, a energia do fóton deve ser maior que a função trabalho do metal. A energia do fóton da radiação infravermelha (1,38 eV) não consegue arrancar elétrons de nenhum dos metais. A energia do fóton de radiação ultravioleta (4,13 eV) arranca elétrons do sódio e do alumínio, mas não arranca elétrons da prata, que tem a maior função trabalho entre os três metais arrolados. A energia cinética dos elétrons ($E_C = h \cdot f - \Phi$) é maior para o metal de menor função trabalho. Verificando a tabela, é o sódio.
3. **a.** Dada a temperatura $T = 37\text{ K} + 273\text{ K} = 310$ K, da lei de Wien, temos:

   $\lambda_{máx.} = \frac{2{,}89 \cdot 10^{-3}}{310} \therefore \lambda_{máx.} \simeq 9{,}3 \cdot 10^{-6}\text{ m} = 9.300\text{ nm}$

   b. Infravermelho.
4. Alternativa **b**. O princípio da incerteza de Heisenberg afirma que quanto mais precisa for a medida da posição, menos precisa será a medida do momento linear, e vice-versa.

   $\Delta x \cdot \Delta Q \geq \frac{h}{4\pi}$

   Em que Δx é a incerteza na medida da posição, ΔQ é a incerteza na medida do momento linear e h é a constante de Planck.
5. Alternativa **a**. No átomo, o elétron se prende ao núcleo por uma energia de ligação chamada função trabalho, que é característica de cada metal. Quando a energia do fóton superar o valor da função trabalho, então o elétron absorve o fóton e é ejetado para fora do metal com uma energia cinética $E_C = h \cdot f - \Phi$, em que $h \cdot f$ é a energia do fóton e Φ é a função trabalho.
6. Alternativa **d**.

   I. Incorreta. Pelo gráfico, para qualquer valor de f após f_{II}, a energia cinética é maior que em f_I.

   II. Correta. Pois f_{II} é maior do que f_I, o que exige fótons de maior energia para liberar elétrons da placa II em comparação à placa I.

   III. Correta. O gráfico da reta tem como coeficiente angular a constante de Planck.
7. **a.** Na transição $n = 1$ para $n = 4$, temos:

   $\Delta E = E_4 - E_1 \Rightarrow \Delta E = -0{,}85 - (-13{,}6) \therefore \Delta E = 12{,}75$ eV

   Portanto, somente o fóton dessa energia poderá ser absorvido.

   b. Considerando a absorção desse fóton, o estado final do átomo será o excitado, no qual o elétron estará no nível $n = 3$.

   c. Após essa absorção (item **a**), podemos ter a transição $n = 4$ para $n = 1$.

   $\Delta E = E_4 - E_1 \Rightarrow \Delta E = -0{,}85 - (-13{,}6) \therefore \Delta E = 12{,}75$ eV

   $\Delta E = h \cdot f \Rightarrow 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot f = 12{,}75 \therefore f \simeq 3{,}1 \cdot 10^{15}$ Hz

   Também pode ocorrer a transição $n = 4$ para $n = 2$; assim:

   $\Delta E = E_4 - E_2 \Rightarrow \Delta E = -0{,}85 - (-3{,}4) \therefore \Delta E = 2{,}55$ eV

   $\Delta E = h \cdot f \Rightarrow 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot f = 2{,}55 \therefore f \simeq 6{,}2 \cdot 10^{14}$ Hz

   E a transição $n = 4$ para $n = 3$. Assim:

   $\Delta E = E_4 - E_3 \Rightarrow \Delta E = -0{,}85 - (-1{,}51) \therefore \Delta E = 0{,}66$ eV

   $\Delta E = h \cdot f \Rightarrow 4{,}14 \cdot 10^{-15} \cdot f = 0{,}66 \therefore f \simeq 1{,}6 \cdot 10^{14}$ Hz
8. $04 + 16 + 32 = 52$

   01. Incorreta. A explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico foi baseada na teoria corpuscular da luz, que afirma que a luz é formada por partículas denominadas fótons. Os fótons de luz têm uma energia que é proporcional à frequência da radiação incidente e, para arrancar um elétron da placa, a energia do fóton deve ser maior ou igual à energia de ligação do elétron com o metal.

   02. Incorreta. A teoria corpuscular da luz não explica o padrão de franjas claras e escuras no experimento da fenda dupla. De acordo com a teoria corpuscular, os fótons devem atravessar as fendas de forma independente, o que não explicaria a formação de um padrão regular. A explicação do padrão de franjas claras e escuras é dada pela teoria ondulatória da luz, que afirma que a luz é uma onda. No experimento da fenda dupla, as ondas de luz interferem entre si, formando o padrão de franjas observado.

   04. Correta. Esta é a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico, e foi amplamente confirmada experimentalmente.

   08. Incorreta. A teoria corpuscular não explica o padrão de franjas claras e escuras no experimento da fenda dupla. De acordo com a teoria corpuscular, os fótons deveriam atravessar as fendas de forma independente e propagar-se em linha reta. Desse modo, os fótons de luz se distribuiriam de forma totalmente aleatória, o que não explica a formação de um padrão regular.

   16. Correta. O padrão de franjas claras e escuras no experimento de Young é explicado pelo fenômeno de interferência construtiva e interferência destrutiva das ondas.

   32. Correta. A teoria ondulatória da luz é capaz de explicar os fenômenos de interferência e difração, que são característicos das ondas. A teoria corpuscular da luz é capaz de explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico, que é característico das partículas.
9. Alternativa **a**.

   De $n = 2$ diretamente para $n = 0$, a energia emitida será igual a:

   $\Delta E = -1{,}50 - (-13{,}6) \therefore \Delta E = 12{,}10$ eV

   De $n = 2$ diretamente para $n = 1$ e, depois, de $n = 1$ a $n = 0$:

   $\Delta E = -1{,}50 - (-3{,}40) \therefore \Delta E = 1{,}90$ eV

   $\Delta E = -3{,}40 - (-13{,}6) \therefore \Delta E = 10{,}20$ eV

10. Alternativa **b**.

$E_f = h \cdot f \Rightarrow f = \frac{2{,}24 \cdot 10^{-14}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} \therefore f = 3{,}38 \cdot 10^{19}$ Hz

Consultando a tabela, concluímos que os detectores devem ser do tipo G.

11. Espera-se que os estudantes associem o funcionamento do sistema de iluminação pública ao efeito fotoelétrico. Em muitos munícipios são utilizadas células fotoelétricas ou relés fotoelétricos para controlar o acendimento automático das lâmpadas dos postes de iluminação. Com a automação dos sistemas de iluminação, é possível reduzir o consumo de energia elétrica, evitando que as lâmpadas fiquem acesas desnecessariamente.

Reflita sobre seu aprendizado!

Solicite aos estudantes que utilizem as perguntas dessa seção para autoavaliar suas compreensões sobre as principais ideias discutidas nesta unidade. Proponha a eles que retomem as respostas da seção **Pense nisso!** que elaboraram no início do estudo desta unidade e as reescrevam com base nos seus conhecimentos atuais sobre os temas estudados. A autoavaliação do processo de aprendizagem favorece tanto o desenvolvimento da metacognição como o autoconhecimento, viabilizando, portanto, a mobilização das **competências gerais 1** e **6**. As atividades propostas nos capítulos podem ser usadas para avaliação formativa, como acompanhamento das aprendizagens e como subsídio para as intervenções necessárias. A seção **Atividades de fechamento** visa avaliar a aprendizagem dos principais conteúdos abordados, incluindo atividades de vestibular, a fim de preparar os estudantes para exames de larga escala.

Educação midiática

A inteligência artificial está cada vez mais presente nas atividades cotidianas; assim, propõe-se a discussão para refletir sobre os aspectos da vida influenciados por ela.

Vamos discutir os impactos na sociedade e comunicar, por meio de uma cena teatral, como a inserção da inteligência artificial e dos algoritmos pode influenciar os processos de tomada de decisão. O estudo desse tópico explora o **TCT Ciência e tecnologia**.

Para iniciar, proponha aos estudantes que discutam com seus grupos as questões propostas. Elas buscam ativar os conhecimentos prévios dos estudantes para identificar o que eles já conhecem sobre o tema.

Na **Ampliação de repertório**, os estudantes devem realizar pesquisas sobre como a inteligência artificial personaliza as informações com base em dados dos usuários, analisando seus interesses e comportamentos. Esta atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13LP41** (Analisar os processos humanos e automáticos de curadoria que operam nas redes sociais e outros domínios da internet, comparando os *feeds* de diferentes páginas de redes sociais e discutindo os efeitos desses modelos de curadoria, de forma a ampliar as possibilidades de trato com o diferente e minimizar o efeito bolha e a manipulação de terceiros.).

A **Produção de conteúdo** consiste na produção de uma cena teatral para retratar como a inteligência artificial e os algoritmos estão presentes no dia a dia e a influência deles na tomada de decisão. No desenvolvimento, é importante que os estudantes elaborem o texto da peça teatral, o que pode ser feito de forma interdisciplinar com Língua Portuguesa. A atividade favorece o desenvolvimento da habilidade **EM13LP45** (Analisar, discutir, produzir e socializar, tendo em vista temas e acontecimentos de interesse local ou global, notícias, fotodenúncias, fotorreportagens, reportagens multimidiáticas, documentários, infográficos, *podcasts* noticiosos, artigos de opinião, críticas da mídia, *vlogs* de opinião, textos de apresentação e apreciação de produções culturais (resenhas, ensaios etc.) e outros gêneros próprios das formas de expressão das culturas juvenis (*vlogs* e *podcasts* culturais, *gameplay* etc.), em várias mídias, vivenciando de forma significativa o papel de repórter, analista, crítico, editorialista ou articulista, leitor, vlogueiro e *booktuber*, entre outros.). Os estudantes podem combinar a apresentação da cena teatral para os colegas de outros grupos e, se for conveniente, organizar um evento para apresentar as cenas para a comunidade escolar.

A **Autoavaliação** é um processo que aumenta a autonomia do estudante, ajudando-o a identificar pontos de melhoria em seu aprendizado. As rubricas correspondem a uma possibilidade de organizar e estabelecer alguns parâmetros para facilitar a reflexão dos estudantes a respeito dos critérios utilizados no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMENTADAS

ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, K. R. A. **Taxonomy for learning, teaching and assessing**: a revision of Bloom's taxonomy or educational objectives. New York: Longman, 2001.

O livro traz uma revisão da taxonomia de Bloom, que explora os currículos de três perspectivas únicas: psicólogos cognitivos, especialistas em currículo e formadores de professores.

ANDRÉ, C. F. O pensamento computacional como estratégia de aprendizagem, autoria digital e construção da cidadania. **Teccogs** – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n. 18, p. 94-109, jul./dez. 2018.

O artigo tem como proposta instigar como o pensamento computacional, na escola, favorece a revisão das próprias produções em um processo de ideias.

ARREDONDO, S. C.; DIAGO, J. C. **Avaliação educacional e promoção escolar**. Curitiba: Editora Intersaberes, 2013.

O livro discorre sobre a evolução do conceito, abordagens, estrutura, funções, objetivos, âmbitos e circunstâncias.

ARROIO, A. Is media literacy an urgent issue in education for all? **Problems of education in the 21st century**, v. 75, n. 5, p. 416-418, 2017.

O artigo traz uma reflexão sobre como as novas tecnologias poderiam ser usadas para fornecer acesso e engajamento nos programas de aprendizagem para todos os grupos sociais.

AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência & Ensino**, v. 1, número especial, 2007.

Artigo sobre o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) dentro do contexto do ensino de Ciências no Brasil.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática [recurso eletrônico]. Porto Alegre: Penso, 2018.

O livro apresenta práticas pedagógicas, em Educação Básica e Superior, que valorizam o protagonismo dos estudantes.

BARBOSA, R. R. B. ***Exoplanetologia*** *– Em busca de um planeta habitável*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Curricular pela Astronomia). Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). Porto. 2015. Disponível em: https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78508/2/34592.pdf. Acesso em: 2 set. 2024.

Dissertação de mestrado que contém explicações concisas sobre a tecnologia envolvida na busca por planetas em zonas habitáveis e os critérios que os tornam candidatos à exploração espacial.

BAZZO, W. A.; LISINGEN, I. V.; PEREIRA, L. T. V. (ed.). Introdução aos Estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). *Cadernos de Ibero América. OEI* – Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura, Madrid, 2003.

Livro que analisa os conceitos de Ciência, tecnologia e sociedade, assim como as relações entre eles.

BERLAND, L. K.; HAMMER, D. Framing for scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 49, n. 1, p. 68-94, 2012.

O artigo apresenta os resultados de uma pesquisa cujo objetivo era entender como estudantes argumentam quando experimentam a necessidade de persuadir indivíduos com visões contrárias às deles.

BIODIVERSIDADE e serviços ecossistêmicos. **Plataforma brasileira de biodiversidade e serviços ecossistêmicos**, nov. 2018. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=uREl2CzWDPk. Acesso em: 23 out. 2024.

Vídeo que aborda como vários de nossos hábitos dependem da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

BORBA, G. S.; LESNOVSKI, M. M. **Transformando a sala de aula**: ferramentas do *design* para engajamento e equidade. Porto Alegre: Penso, 2023.

Livro que aborda a inovação educacional focada em diversidade, equidade e inclusão, utilizando o pensamento e ferramentas do *design*.

BORELLI, S. H. S.; FREIRE FILHO, J. (org.). Culturas juvenis no século XXI. **Revista de Antropologia**, v. 52, n. 1, São Paulo: USP, 2009. Disponível em: https://revistas.usp.br/ra/article/view/27340/29112. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta uma série de pesquisas sobre práticas juvenis no Brasil e busca oferecer um panorama das transformações dos modos de ser jovem no início deste século.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia de Implementação do Novo Ensino Médio**. Disponível em: https://anec.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Guia-de-implantacao-do-Novo-Ensino-Medio.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

O documento traz os fundamentos para a implementação da nova proposta para a etapa do Ensino Médio enfatizando a importância do uso de instrumentos diversificados para avaliação do ensino-aprendizagem.

BRASIL. Ministério da Educação. **Novo Ensino Médio – perguntas e respostas**. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/publicacoes-para-professores/30000-uncategorised/40361-novo-ensinomedio-duvidas. Acesso em: 15 set. 2024.

O documento reúne as perguntas mais frequentes sobre o novo Ensino Médio e as respectivas respostas.

BRASIL. Ministério da Educação. Proposta de diretrizes para a formação inicial de professores da Educação Básica, em cursos de nível superior, 2000. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/ed_basdire.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O documento propõe uma formação, nos cursos de Ensino Superior, mais condizente com os desafios do mundo atual.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília: MEC/SEB, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

Trata-se de um documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica.

BRASIL. Ministério da Educação. **Temas Contemporâneos Transversais na BNCC**: propostas de práticas de implementação, 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/guia_pratico_temas_contemporaneos.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

O documento explica a necessidade de abordar esses temas nas escolas mostrando que pode-se aumentar o interesse dos estudantes no seu desenvolvimento como cidadão.

CARVALHO, A. M. P. Las prácticas experimentales en el proceso de enculturación cientifica. *In*: GATICA, M. Q.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (eds.). **Enseñar ciencias en el nuevo milenio**: retos e propuestas. Santiago: Universidade Católica de Chile, 2006.

O artigo mostra que não é apenas o produto das Ciências que deve ser transmitido às novas gerações, mas também o processo de construção das Ciências e a cultura científica.

CARVALHO, A. M. P. *et al*. **Termodinâmica**: um ensino por investigação. São Paulo: Feusp/Capes, 1999.

O artigo discorre sobre a averiguação das vantagens de usar o ensino por investigação.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

Livro que discute diferentes tipos de raciocínio científico, como a indução e a dedução, além de questões relacionadas à Filosofia da Ciência.

CENSO do IBGE mostra que pretos, pardos e indígenas têm menos acesso a saneamento básico. **SINTRAJUFE RS**, 23 fev. 2024. Disponível em: https://sintrajufe.org.br/censo-do-ibge-mostra-que-pretos-pardos-e-indigenas-tem-menos-acesso-a-saneamento-basico/. Acesso em: 25 set. 2024.

Matéria mostra que, embora o acesso a saneamento tenha aumentado no Brasil, populações negras e indígenas ainda são as menos contempladas.

COMO a Ciência busca alternativas para reduzir os agrotóxicos? Minas Gerais: **Outra Estação**, 19 set. 2019. Disponível em: https://ufmg.br/comunicacao/noticias/como-a-ciencia-esta-buscando-alternativas-para-agrotoxicos. Acesso em: 28 set. 2024.

Episódio do *podcast Outra Estação* que trata de impactos da liberação e reclassificação de agrotóxicos e de alternativas ao uso deles.

CORTESÃO, L. Formas de ensinar, formas de avaliar. Breve análise de práticas correntes de avaliação. *In*: ABRANTES, P.; ARAÚJO, F. (coord.). **Reorganização Curricular do Ensino Básico**. Avaliação das Aprendizagens – Das concepções às práticas. Lisboa: Ministério da Educação. Departamento da Educação Básica, 2002.

A autora desenvolve a noção de que diferentes concepções de escola exigem diferentes modelos avaliativos e oferece subsídios para a aplicação de avaliações diagnósticas, formativas e somativas.

COSTA, A. C. G. da. **Pedagogia da presença**: da solidão ao encontro. Belo Horizonte: Modus Faciendi, 2001.

O livro é uma ferramenta de qualificação das relações humanas, como ética de acolhimento, respeito e empatia para com as pessoas.

COSTA, A. C. G. da; VIEIRA, M. A. **Protagonismo juvenil**: adolescência, educação e participação democrática. Salvador: Fundação Odebrecht, 2000.

O livro tem como objetivo instrumentalizar os profissionais que lidam com o desenvolvimento pessoal e social do jovem.

DAMINELI, A.; DAMINELI, D. S. C. Origens da vida. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 263-284, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/7YByCSpwXRnY4tWxVK39bQB/?lang=pt. Acesso em: 2 set. 2024.

Artigo em que é feita uma revisão sobre os principais aspectos relacionados à vida e à sua origem.

DEWEY, J. **Lógica**: teoría de la investigación. México: Fondo de Cultura Económica, 1950.

O livro demonstra que a aprendizagem deve partir da lógica, caracterizada como teoria da investigação.

DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S.; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. **Revista Thema**, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

O artigo traz práticas pedagógicas que valorizam o protagonismo dos estudantes e que estão relacionadas com as teorias que lhes servem de suporte, além de apresentar as alterações necessárias na prática docente por ocasião do uso de metodologias ativas.

ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (eds.). **Argumentation in Science Education**: Perspectives from Classroom-based Research. United Kingdom: Springer.

Combinando perspectivas teóricas e práticas relevantes, o livro agrupa artigos de renomados pesquisadores na área de argumentação no ensino de Ciências.

FAZENDA, I. C. A. *Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro*: efetividade ou ideologias. 6. ed. São Paulo: Loyola, 2011.

Por meio de pesquisas sobre a legislação brasileira e aspectos teóricos da interdisciplinaridade (como sua utilidade, sua aplicabilidade e seus obstáculos), esse livro traz uma visão geral sobre "integração" e "interdisciplinaridade" na educação.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 14, n. 3, jul./set. 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cebape/a/hvbYDBH5vQFD6zfjC9zHc5g/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 23 out. 2024.

Artigo que analisa os conceitos de "sustentável", "sustentabilidade" e "desenvolvimento sustentável".

FEISTEL, R. A. B.; MAESTRELLI, S. R. P. Interdisciplinaridade na formação de professores de Ciências Naturais e Matemática: algumas reflexões. **VII Enpec**, Florianópolis, nov. 2009.

Artigo que discute a interdisciplinaridade embasado em referenciais teóricos e documentos oficiais normativos e com foco na formação de professores na UFMT.

FERNANDES, D. Avaliação formativa. *In*: GONTIJO, S. B. F.; LINHARES, V. L. C. N. (org.) **Dicionário de avaliação educacional**. Brasília: Editora IFB, 2023. Disponível em: https://arquivorevistaeixo.ifb.edu.br/index.php/editoraifb/issue/view/178. Acesso em: 15 set. 2024.

Dicionário que reúne termos relacionados à avaliação educacional, elaborado a partir de discussões sobre o tema realizadas pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Organização do Trabalho Pedagógico e Formação Docente, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília.

FERNANDES, D. Para uma teoria da avaliação no domínio das aprendizagens. **Estudos em avaliação educacional**, v. 19, n. 41, set./dez. 2008, p. 347-372. Disponível em: https://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/eae/arquivos/1454/1454.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo discute o processo de construção teórica da avaliação escolar, conceituando a avaliação formativa alternativa e estabelecendo conexões entre ela e o modelo somativo.

FERRARI, A. C.; MACHADO, D.; OCHS, M. **Guia da Educação Midiática**. 1. ed. São Paulo: Instituto Palavra Aberta, 2020. Disponível em: https://educamidia.org.br/guia. Acesso em: 23 out. 2024.

Guia destinado a educadores sobre o preparo de crianças e jovens na relação com as mídias.

FERRAZ, A. T.; SASSERON, L. H. Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 1, p. 42-60, 2017. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/312/pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

Artigo científico que traça um panorama das ações tomadas por um professor que permitiram instaurar e mediar a produção de argumentos pelos estudantes em sala de aula.

FREIRE, P. **Pedagogia da esperança**: um reencontro com a Pedagogia do oprimido. 16. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2009.

O autor faz uma reflexão sobre o livro *Pedagogia do oprimido*, publicado em 1968 durante o seu exílio no Chile, e analisa suas experiências pedagógicas em quase três décadas nos mais diferentes países.

FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (UNFPA). **Um trabalho inacabado**: a busca por direitos e escolhas para todos e todas. Situação da População Mundial 2019. Disponível em: https://brazil.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/situacao_da_populacao_mundial_final.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

Relatório que trata do esforço multilateral pelos direitos reprodutivos das mulheres.

HADJI, C. **Avaliação desmistificada**. Tradução de Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artmed, 2001.

O autor discute aspectos ideológicos e filosóficos, propondo-se a trazer para a realidade aquilo que frequentemente é idealizado a respeito das avaliações formativas.

HUGHES, G. Introducing ipsative assessment and personal learning gain: voices from practitioners and the themes of the collection. *In*: HUGHES, G. (ed.). **Ipsative assessment and personal learning gain**: exploring international case studies. London: Palgrave Macmillan, 2017.

O capítulo apresenta a avaliação ipsativa como uma abordagem diametralmente oposta a visões meritocráticas e propostas homogeneizadoras de avaliação escolar.

IDEC. MENTIRA Verde: um guia para o consumidor não se deixar enganar pelas práticas de *greenwashing* das empresas. São Paulo, Idec. Disponível em: https://idec.org.br/greenwashing. Acesso em: 23 out. 2024.

Guia que orienta o consumidor a identificar estratégias de *greenwashing* e que concede acesso a uma pesquisa inédita do Idec sobre essa prática.

KLOSTERMAN, M. L.; SADLER, T. D.; BROWN, J. Science teachers' use of mass media to address socio-scientific and sustainability issues. **Research in Science Education**, v. 42, n. 1, p. 51-74, 2012.

Esse estudo investiga os usos, relatados e reais em sala de aula, dos meios de comunicação de massa pelos professores secundários de Ciências para explorar questões sociocientíficas e de sustentabilidade.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de Biologia**. São Paulo: Edusp, 2004.

O livro procura acompanhar o crescimento das pesquisas na área e a expansão e o aprofundamento dos estudos sobre o aprendizado dos estudantes, mantendo, no entanto, suas características de instrumento de consulta e estudo.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. **Ensino de Ciências e cidadania**. São Paulo: Moderna, 2004.

O livro faz uma análise das tendências presentes no ensino básico de Ciências, levando em consideração o que realmente é essencial para que o objetivo do seu ensino seja realmente alcançado.

LABORATÓRIO de Estudos Evolutivos Humanos. Departamento de Genética e Biologia Evolutiva da USP. Disponível em: https://evolucaohumana.ib.usp.br/. Acesso em: 23 out. 2024.

Página que disponibiliza material sobre a história da evolução humana.

LIMA, L. F.; SANTOS, A. G. F.; D'ESCOFFIER, L. N.; SANTOS, T. C.; CHRISPINO, A. A interdisciplinaridade em CTS: um estudo da produção científica voltada para o ensino de ciências com análise bibliométrica e de redes. **Revista Eletrônica DECT**, v. 8, n. 1, p. 20-54, abr. 2018. Disponível em: https://ojs.ifes.edu.br/index.php/dect/article/view/1050. Acesso em: 16 out. 2024.

Artigo que analisa a produção científica nacional (de 1996 a 2016) sobre interdisciplinaridade e contextualização sob a perspectiva CTS voltada para o ensino de Ciências.

LINDEMANN, R. H. *et al*. Biocombustíveis e o ensino de Ciências: compreensões de professores que fazem pesquisa na escola. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, 2009. Disponível em: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen08/ART18_Vol8_N1.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

Artigo que analisa a compreensão de professores de Ciências sobre a temática dos biocombustíveis, propondo reflexões para formação inicial e continuada dos docentes.

LINSINGEN, L. V. **Metodologia de ensino de Ciências e Biologia**. Florianópolis: Biologia/EaD/UFSC, 2010. Disponível em: https://antigo.uab.ufsc.br/biologia//files/2020/08/Metodologia-do-Ensino-de-Ci%C3%AAncias-e-Biologia.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

O livro aborda algumas metodologias e práticas pedagógicas, bem como materiais e recursos didáticos para o ensino de Ciências e Biologia no contexto brasileiro. O objetivo principal do livro é orientar professores da área sobre estratégias para ensinar e aprender Ciências e Biologia na Educação Básica.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem**: componente do ato pedagógico. São Paulo: Cortez Editora, 2011.

O livro oferece condições para melhor compreender o ato de avaliar a aprendizagem dos estudantes e, dessa forma, orientar uma prática mais adequada às suas finalidades.

MACHADO, E. F. **Fundamentação pedagógica e instrumentação para o ensino de Ciências e Biologia**. Curitiba: InterSaberes, 2020.

Livro que explora maneiras de ensinar, aprender e praticar Ciência, com base em estudos teóricos e práticos.

MACHADO, V. F.; SASSERON, L. H. As perguntas em aulas investigativas de Ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, 2012. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/c3a5/6d3136511e2012fde0b975c503ecf40ae332.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo propõe uma construção teórica de categorias para as perguntas feitas pelo professor de Ciências em aulas investigativas, levando em conta o conceito de ciclo argumentativo.

MALBERGIER, A.; AMARAL, R. A. **Conceitos básicos sobre o uso abusivo e dependência de drogas**. São Luís: UNASUS/UFMA, 2013. Disponível em: https://ares.unasus.gov.br/acervo/html/ARES/2046/3/Mod%2003%20UNIDADE%2001.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

Material que apresenta conceitos sobre o uso de drogas lícitas e ilícitas.

MARTINO, L. M. S. **Teorias das mídias digitais**: linguagens, ambientes e redes. Petrópolis: Vozes, 2014.

O livro faz um mapeamento dos conceitos e das teorias relacionadas a cibercultura, cultura digital, internet ou mídias digitais e apresenta os eixos temáticos dessas mídias dentro da comunicação.

MEYER, D. Quais fatores determinam a diversidade genética em animais. **Darwinianas**, set. 2006. Disponível em: https://darwinianas.com/2016/09/27/quais-fatores-determinam-a-diversidade-genetica-em-animais/. Acesso em: 23 out. 2024.

Artigo que explora a variabilidade genética no contexto da Biologia Evolutiva.

MORAES, J. U. P. *et al*. Avaliação baseada na aprendizagem significativa por meio de mapas conceituais. **VIII Enpec**, Campinas, 2011.

O artigo busca fazer uso de mapas conceituais para avaliar o aprendizado dos estudantes, identificando se esse aprendizado ocorreu de forma significativa.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. 2012. Instituto de Física, UFRGS, –2012. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo mostra uma fundamentação teórica e alguns exemplos de mapas conceituais, particularmente na área de Ciências. Eles são propostos como uma estratégia potencialmente facilitadora de aprendizagem significativa.

MOSS, B.; LOH, V. S. **35 estratégias para desenvolver a leitura com textos informativos**. Porto Alegre: Penso, 2012.

O livro é um guia prático que apresenta atividades baseadas em pesquisas que auxiliam os professores a ensinar os estudantes a ler textos informativos e pensar com senso crítico sobre eles.

NOVA ESCOLA. O que pensam os jovens de baixa renda sobre a escola. Disponível em: https://novaescola.org.br/conteudo/7307/expediente-edicao-especial-o-que-pensam-os-jovens-de-baixa-renda-sobre-a-escola?_gl=1*1sc4ipg*_gcl_au*MTY5MzQ2NTk3NC4xNzI2NDIyNjg3. Acesso em: 15 set. 2024.

Artigo que relata os resultados de uma pesquisa, que revela, entre outros aspectos, que os jovens de baixa renda não encontravam sentido no conteúdo ensinado nas escolas, e evidenciando a distância entre a vida real e a rotina escolar no âmbito do uso de tecnologias.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. 2. ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1999.

O livro traz ferramentas cujo objetivo é facilitar o processo de aprender de forma significativa.

PAPAVERO, N.; SANTOS, C. F. M. Evolucionismo darwinista? Contribuições de Alfred Russel Wallace à teoria da Evolução. **Revista Brasileira de História**, v. 34, n. 67, p. 159-180, jun. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbh/a/G6z3gmqHCJPXzxrnTNj8mQP. Acesso em: 23 out. 2024.

Artigo que discute como Wallace contribuiu para as teorias evolutivas.

PERRENOUD, P. Pour une approche pragmatique de l'évaluation formative. **Mesure et évaluation en éducation**, 13(4), 1991, p. 49-81. Disponível em: https://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1991/1991_12.html. Acesso em: 15 set. 2024.

No artigo o sociólogo defende uma concepção mais ampla da avaliação formativa sob os pontos de vista da observação, da intervenção e da regulação das aprendizagens.

PEZARINI, A. R.; MACIEL, M. D. A argumentação no ensino de Ciências: um delineamento das produções acadêmicas brasileiras no período de 2010 a 2018. **Revista Triângulo**, v. 11, n. 3 p. 212-232, 2018. Disponível em: https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/revistatriangulo/article/view/3078. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo apresenta um mapeamento da produção acadêmica brasileira sobre argumentação no ensino de Ciências.

POMBO, O. *Epistemologia da Interdisciplinaridade*. Ideação, [*s. l.*], v. 10, n. 1, p. 9-40, 2010. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/ideacao/article/view/4141. Acesso em: 16 out. 2024.

Artigo que se propõe a explorar o conceito de interdisciplinaridade, assim como seus fundamentos teóricos e as perspectivas atuais do trabalho interdisciplinar.

RANIERI, G. R.; BORGES, F.; NASCIMENTO, V.; GONÇALVES, J. R. **Guia prático sobre PANC**: plantas alimentícias não convencionais. 1. ed. São Paulo: Instituto Kairós, 2017. Disponível em: https://institutokairos.net/wp-content/uploads/2017/08/Cartilha-Guia-Pr%C3%A1tico-de-PANC-Plantas-Alimenticias-Nao-Convencionais.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

Cartilha com informações variadas sobre PANC, além de um catálogo de plantas desse tipo.

RITCHHART, R.; CHURCH, M.; MORRISON, K. **Making Thinking Visible**: How to promote engagement, understanding, and independence for all learners.1. ed. California: Jossey-Bass, 2011.

O livro traz uma abordagem baseada em pesquisa para o ensino do pensamento. É uma coleção variada de práticas, incluindo rotinas de pensamento – pequenos conjuntos de perguntas ou uma breve sequência de etapas –, além da documentação do pensamento do estudante.

ROGERS, C. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte: Interlivros, 1973.

O livro parte de questionamentos a respeito do sistema educacional; foi escrito para os profissionais da educação numa tentativa de motivar o desejo de mudança e a realização de algo concreto.

SANTOS, L. A articulação entre a avaliação somativa e a formativa, na prática pedagógica: uma impossibilidade ou um desafio? **Ensaio**: avaliação e políticas públicas em educação. 24 (92), jul./set. 2016, p. 637-669. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ensaio/a/ZyzxQhwSHR8FQTSxy8JNczk. Acesso em: 15 set. 2024.

A autora propõe princípios que podem guiar a articulação entre avaliação somativa e formativa, recorrendo à educação matemática com o propósito de ilustrar algumas situações práticas.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, v. 1, 2007. Disponível em: https://recursosdefisica.com.br/files/149-530-1-PB.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

Com base no enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), o artigo propõe uma abordagem de contextualização no ensino de Ciências em uma perspectiva crítica e apresenta um modelo curricular como exemplo.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química**: compromisso com a cidadania. 4. ed. Ijuí: Editora da Unijuí, 2010.

Obra dedicada ao ensino de Química, apresenta uma nova leitura sobre o movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no ensino de Ciências.

SASSERON, L. H. S. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre Ciências da natureza e escola. **Revista Ensaio**, v. 17, n. especial, p. 49-67, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/epec/v17nspe/1983-2117-epec-17-0s-00049.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

O livro tem por objetivo discutir aspectos importantes do ensino e da aprendizagem do conteúdo científico no nível fundamental.

SASSERON, L. H. S.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/445. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo apresenta um estudo qualitativo realizado após a aplicação de uma sequência didática de Ciências no Ensino Fundamental.

SILVA, A. M. K. **Questões sociocientíficas e o pensamento complexo**: teciturας para o ensino de Ciências. Tese (Doutorado) – Faculdade da Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

A pesquisa, de cunho teórico, teve por objetivo delinear, a partir do pensamento complexo, princípios epistêmicos teórico-estratégicos orientadores nas discussões sobre Questões Sociocientíficas (QSC) em aulas de Ciências.

SILVA, E. L. da. **Contextualização no ensino de Química**: ideias, proposições de um grupo de professores. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/marco2012/quimica_artigos/contex_ens_quim_dissert.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

A pesquisa teve como objetivo investigar as ideias e as proposições de um grupo de professores a respeito da contextualização no ensino de Química.

SILVEIRA, A. P. C.; SANTOS, T. C.; CHRISPINO, A. Uma análise do conceito de interdisciplinaridade no ensino CTS brasileiro. *Educação e Fronteiras*, Dourador, v. 9, n. 25, p. 166-182, 2019. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/educacao/article/view/11020. Acesso em: 2 nov. 2024.

Artigo que analisa o conceito de interdisciplinaridade presente na produção científica brasileira (de 1996 a 2018) sobre ensino CTS.

SOLÉ, I. **Estratégias de leitura**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

O objetivo desse livro é instrumentalizar educadores e profissionais para promover a utilização de estratégias de leitura que permitam interpretar e compreender melhor textos escritos.

SOUZA, N. A.; BORUCHOVITCH, E. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **Educação em Revista**, v. 26, n. 3, p. 195-218, dez. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/edur/a/LyJBCdDvGvdzmn6tRQv5JJL/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 30 set. 2024.

Artigo que explora as potencialidades do mapa conceitual nos processos de ensino-aprendizagem e avaliativos.

TRIVELATO, S. L. F.; SILVA, R. L. F. **Ensino de Ciências**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

O livro aprofunda a discussão conceitual sobre temas atuais e de limites menos disciplinares e indica, ao final de cada capítulo, diversas referências bibliográficas sobre o ensino de Ciências.

UNESCO. **Educação para os objetivos de desenvolvimento sustentável**: objetivos de aprendizagem. Brasília: Unesco, 2017.

O guia oferece orientações e sugestões que os educadores podem selecionar e adaptar para encaixar em contextos de aprendizagem concretos.

VARGAS, D. S. O plano inferencial em atividades escolares de leitura: o livro didático em questão. **Revista Intercâmbio**, v. XXV, p. 126-152, 2012. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/intercambio/article/view/10137/7617. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo analisa materiais didáticos de Língua Portuguesa, no que diz respeito ao trabalho desenvolvido com os estudantes em relação aos seus processos de inferenciação em leitura.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. (org.). **Biomas e agricultura**: oportunidades e desafios. Rio de Janeiro: Vertente edições, 2019. Disponível em: https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Livro-Biomas-e-Agricultura-Site.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

Livro que aborda as restrições e potencialidades relativas ao aproveitamento sustentável dos recursos naturais dos biomas brasileiros.

WILSON, C.; GRIZZLE, A.; TUAZON, R.; AKYEMPONG, K.; CHEUNG, C. **Alfabetização midiática e informacional**: currículo para a formação de professores. Brasília: Unesco, 2013. 194p. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000220418. Acesso em: 15 set. 2024.

A publicação faz uma abordagem sistemática e abrangente na preparação do currículo de Alfabetização midiática informacional para formação de professores.

WING, J. Pensamento computacional – Um conjunto de atitudes e habilidades que todos, não só cientistas da computação, ficaram ansiosos para aprender e usar. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 1-10, maio/ago. 2016. Disponível em: https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/4711. Acesso em: 15 set. 2024.

O artigo traz exemplos de como elementos do pensamento computacional estão presentes no cotidiano e evidencia a importância do favorecimento do pensamento computacional na compreensão de conceitos e no enfrentamento de desafios cotidianos.

ZAIA, D. A. M. Da geração espontânea à Química Prebiótica. **Química Nova**, v. 26, n. 2, p. 260-264, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/qn/v26n2/14999.pdf. Acesso em: 2 set. 2024.

Artigo que discute a origem da vida desde a ideia da geração espontânea até a hipótese de Oparin-Haldane, discutindo aspectos da Química Prebiótica.

ZAIA, D. A. M.; ZAIA, C. T. B. V. Algumas controvérsias sobre a origem da vida. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1599-1602, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/qn/v31n6/a54v31n6.pdf. Acesso em: 2 set. 2024.

Artigo que discute controvérsias sobre a origem da vida, principalmente quanto à origem do primeiro ser vivo e seu metabolismo, ao código genético e ao papel dos minerais.

REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES COMENTADAS

ALMEIDA, V. O.; CRUZ, C. A.; SOAVE, P. A. Concepções alternativas em óptica. **Textos de apoio ao professor de Física**, v. 18, n. 2. Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Porto Alegre: UFRGS, 2007. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tapf/v18n2_Almeida_Cruz_Soave.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

O material apresenta as principais concepções alternativas referentes a conceitos da Óptica geométrica e da Óptica física.

AMORIM, A. M. A.; REIS, J. S. dos; OLIVEIRA, V. C. M.; SANTOS, B. M. Jogo de mímica para o ensino de propagação do calor: condução, convecção e irradiação. **Revista Prática Docente**, [*s. l.*], v. 3, n. 1, p. 158–170, 2018. Disponível em: https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/606/594. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta resultados para o uso de recursos didáticos diferenciados no ensino dos conceitos de calor sensível, calor latente e processos de transmissão de calor.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de Física: usando simulações do PhET. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a08.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

O texto discute estratégias para aplicação de simulações educacionais no ensino de Física.

ARANTES, J. T. Pesquisadores detectam ligação do bóson de Higgs com o *quark top*. **Agência Fapesp**. São Paulo, 2018. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/pesquisadoresdetectam-ligacao-do-boson-de-higgs-com-o-quarktop/28024/. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo faz uma análise do experimento que levou à detecção do bóson de Higgs e seu impacto para a confirmação do modelo-padrão da Física de partículas.

ASSIS, A. K. T. **Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

O livro traz uma abordagem sobre a vida e algumas das obras de Arquimedes e discute alguns conceitos, como centro de gravidade e alavancas, por meio de experiências simples com materiais de baixo custo.

BLUM, Andrew. **Tubos**: o mundo físico da internet. Rio de Janeiro: Rocco, 2013.

O livro conduz o leitor aos bastidores da internet, das fibras ópticas às trocas de *e-mail*, apresentando seu funcionamento de modo acessível e instigante.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Fundo Amazônia**. Brasília, DF: MDIC/MMA, 2024. Disponível em: https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/home/. Acesso em: 13 set. 2024.

Site oficial do Fundo Amazônia, que apresenta dados estatísticos e relatórios oficiais do governo brasileiro sobre as atividades voltadas à sustentabilidade e à preservação da Amazônia.

CARROL, D. A.; OSTLIE, B. W. **An introduction to modern Astrophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

O livro introduz conceitos da área de Astrofísica por meio de ferramentas matemáticas e conhecimentos de Física básica.

CARVALHO, A. M. P. (org.). **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

O livro discute questões importantes e atuais relacionadas ao ensino e à aprendizagem de ciências por investigação.

CARVALHO, A. M. P; RICARDO, E. C. *et al*. **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

O livro discute temas importantes para a formação inicial e continuada de professores de Física, apresentando-a como uma área de conhecimento em constante construção e cujos conhecimentos propostos fazem parte do dia a dia.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Filker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

De maneira clara e bem exemplificada, o autor explica e discute diferentes tipos de raciocínio científico, como a indução e a dedução, além de outras questões relacionadas à filosofia da Ciência, aos discursos científicos e à própria natureza da Ciência.

COSTA DOS SANTOS, H. S.; SANTOS, R. F. dos. Uma proposta de sequência didática para o ensino de propagação de calor a partir do uso de incêndios florestais aplicado no Ensino Médio. **Revista do Professor de Física**, [*s. l.*], v. 3, n. especial, p. 29-30, 2019. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/25863/22719. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta um produto educacional que propõe o estudo da propagação do calor a partir dos incêndios florestais.

EDUCAMÍDIA. Educação midiática e inteligência artificial. **Educamídia**. Instituto Palavra Aberta. Disponível em: https://educamidia.org.br/educacao-midiatica-e-inteligencia-artificial. Acesso em: 2 nov. 2024.

O *site* discute a educação midiática considerando as transformações sociais e tecnológicas relacionadas à inteligência artificial, como os impactos no fluxo de informações, na democracia e nos direitos dos cidadãos.

FERNANDEZ, J. V. M.; LIXANDRÃO FILHO, A. L. *et al*. Uma nova estratégia para o ensino de física nuclear e radioatividade para o novo ensino médio: autoaprendizagem guiada por aplicativo *web*. Produtos e Materiais Didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/DRQLY4pC8YRvZgvqq5vWPfy/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta um aplicativo para auxiliar estudantes e professores no estudo das radiações a partir de trilhas de aprendizagem construídas de acordo com a BNCC.

GONTIJO, L. M. A.; RODRIGUES, C. G. Sobre a evolução do conceito de calor e energia térmica. **História da Ciência e Ensino**, v. 24, p. 19-51, 2021. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/54914/38690. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta uma discussão histórica sobre a evolução dos conceitos de calor e energia térmica em ordem cronológica.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. A. B. Uma abordagem histórico-filosófica para o Eletromagnetismo no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004.

Estudo sobre a reflexão histórico-filosófica da primeira fase do Eletromagnetismo, de 1820 a 1832, destacando sua importância e aplicabilidade no ensino de Ciências.

GURGEL, I. **Elementos de uma poética da Ciência**: fundamentos teóricos e implicações para o ensino de Ciências. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-09092010-105921/publico/IVA_GURGEL.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

Tese em que o autor discute o papel das narrativas no pensamento científico e para o ensino de Ciências. Além de apresentar fundamentos teóricos, também propõe algumas práticas envolvendo assuntos diversos da Física.

KIOURANIS, N. M. M.; SOUZA, A. R.; SANTIN FILHO, O. Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 1507, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n1/a19v32n1.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo faz uma revisão da literatura sobre experimentos mentais, sugerindo como o uso de alternativas didáticas que incluem essas experiências podem ser úteis na aprendizagem de fenômenos difíceis de serem observados.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, S. S. Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 84-96, 2002. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4133/2698. Acesso em: 20 set. 2024.

O artigo traz diferentes concepções acerca dos conceitos de calor e temperatura e aponta um problema existente no ensino de Física relacionado a isso.

MESQUITA, L. *et al*. Metodologia do *design* educacional no desenvolvimento de sequências de ensino e aprendizagem no ensino de Física. Pesquisa em Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

O artigo apresenta uma visão geral da pesquisa, do desenvolvimento e da implementação de sequências de ensino e aprendizagem orientadas para tópicos de Ciências.

OKUNO, E.; FRATIN, L. **Desvendando a Física do corpo humano**: Biomecânica. 2. ed. São Paulo: Manole, 2016.

O livro apresenta abordagens qualitativa e quantitativa dos conceitos físicos envolvidos na Biomecânica, destacando as condições de equilíbrio estático e de equilíbrio dinâmico do corpo humano.

PACCA, J. L. A. **A lei da inércia**: planejamento pedagógico e aprendizagem. Curitiba: Appris, 2018.

O livro traz uma coletânea de problemas descritos pela literatura sobre as concepções dos estudantes a respeito da lei da inércia. Discute seus pressupostos teóricos e como eles podem ser considerados no planejamento pedagógico.

PACCA, J. L. A. *et al*. Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 151-167, ago. 2003. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6541/6033. Acesso em: 1º out. 2024.

Artigo em que os autores propõem duas questões para avaliar o modelo de corrente elétrica e de circuito elétrico de acordo com a concepção dos estudantes do Ensino Médio.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. 2. ed. São Paulo: Cultrix, 2013.

Nesse livro, o filósofo da Ciência Karl Popper discorre sobre o caráter lógico da pesquisa científica e seu impacto sobre o pensamento científico.

SANTOS, B. M.; NUNES, I. N. da C.; DE ARRUDA, F. N. Estados físicos da água, calor sensível e calor latente: um jogo didático para o ensino de física com audiodescrição e braille. **Revista do Professor de Física**, [*s. l.*], v. 3, n. especial, p. 17-18, 2019. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/25855/22713. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta uma atividade inclusiva com adaptações específicas para o ensino de conceitos de Física para estudantes com deficiência visual.

SANTOS, C. E. *et al*. Determinação do coeficiente de atrito para interface plástico-madeira em plano inclinado. **VIII Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação**. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2004.

Esse artigo, apresentado em congresso, traz uma atividade prática para a determinação do coeficiente de atrito entre duas superfícies em um plano inclinado.

SILVA, G. R.; ERROBIDART, N. C. G. Termodinâmica e Revolução Industrial: uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **História da Ciência e Ensino**: construindo interfaces, v. 19, p. 71-97, 2019. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/41758/29297. Acesso em: 2 nov. 2024.

O artigo apresenta um material didático em forma de texto narrativo histórico mostrando as contribuições culturais e científicas da Revolução Industrial para o desenvolvimento da Termodinâmica.

WEBBER, M. C. M.; RICCI, T. F. Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio*:* uma proposta para professores. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 17, n. 5, 2006. Porto Alegre: UFRGS. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ta/v17n5_Webber_Ricci.pdf. Acesso em: 2 nov. 2024.

Esse trabalho contém questões históricas e conceituais fundamentais para a inclusão da temática na sala de aula. É enriquecido com referências-chave e imagens que podem ser usadas como apoio para o trabalho docente.

ISBN 978-85-16-14052-6