

Coleção Pré-Vestibular

Elaborado de acordo com
as matrizes do ENEM

FÍSICA

Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Física 1

Módulo 1: Termometria	1
Módulo 2: Dilatação térmica dos sólidos	7
Módulo 3: Dilatação térmica dos líquidos	13

Física 2

Módulo 1: Processos de eletrização; Força elétrica	17
Módulo 2: Campo elétrico I	25
Módulo 3: Campo elétrico II; Potencial elétrico I	30

Física 3

Módulo 1: Fundamentos da Óptica Geométrica e espelhos planos	36
Módulo 2: Espelhos esféricos	45
Módulo 3: Introdução ao estudo da refração da luz; Reflexão total; Prismas	50

Física 4

Módulo 1: Introdução ao estudo da Física	57
Módulo 2: Vetores e cinemática vetorial	62
Módulo 3: Cinemática escalar I	72

Neste livro:

Módulo 1: Termometria.....1
Módulo 2: Dilatação térmica dos sólidos.....7
Módulo 3: Dilatação térmica dos líquidos.....13

O calor e os fenômenos térmicos

Módulo
1

Termometria

C	6
H	20

Neste livro, terá início o estudo de um dos ramos da Física: a Termologia. Serão estudados diversos fenômenos associados a uma forma de energia denominada **energia térmica**, que é capaz de produzir resfriamentos, aquecimentos, ou mesmo mudanças de fase, quando absorvida ou cedida por um corpo.

Serão vários os fenômenos térmicos estudados. Serão analisados os processos por meio dos quais o calor flui de um sistema para outro e, posteriormente, será analisada a dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos. Na calorimetria, estará em análise a quantidade de calor trocada em um determinado processo de aquecimento, resfriamento ou mudança de fase. Será apresentado, ainda, o comportamento dos gases de acordo com temperatura, volume e pressão, bem como as importantes conexões entre o calor e outras formas de energia, quando, então, serão apresentadas a Termodinâmica e suas leis.

Mas, o que é calor? Imagine duas porções de água, uma quente e outra fria. Caso sejam misturadas, em iguais quantidades, a situação intermediária obtida será morna. O que deve ter acontecido? Quando as partículas que constituem a amostra de água quente, as quais apresentam maior agitação, interagem com as partículas da amostra de água fria, as quais apresentam menor agitação, trocam entre si energia até adquirirem uma situação intermediária de equilíbrio, na qual a agitação das partículas nem é maior que a da água quente nem é menor que a da água fria. Essa energia, que é associada ao estado de agitação das partículas, é denominada **energia térmica**. Quando está em trânsito, é denominada **calor**.



Como se mede esse grau de agitação? Para responder a essa pergunta, é necessário conhecer o conceito de temperatura.

Temperatura

É possível caracterizar o estado térmico das amostras de água citadas anteriormente utilizando palavras como quente, frio ou morno. Precisa-se, de alguma forma, medir o grau de agitação das partículas que constituem cada um daqueles sistemas. Devido a essa demanda, surge o conceito de **temperatura**, uma grandeza que avalia esse grau de agitação.

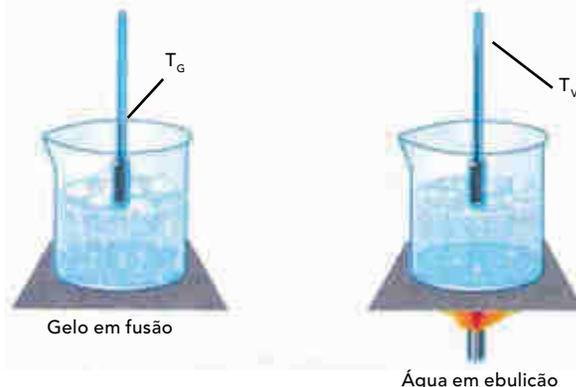
A **temperatura** de um corpo pode ser entendida como a medida do grau de agitação das partículas que o constituem.

Dessa forma, conclui-se que a transferência de calor entre dois corpos depende da diferença de temperatura entre eles. Quando as partículas do corpo quente interagem com as do corpo frio, estas têm sua velocidade aumentada às custas da diminuição da velocidade daquelas, até que seja atingido um estado de equilíbrio térmico, quando, então, os dois corpos considerados apresentam necessariamente a mesma temperatura.

Escalas termométricas

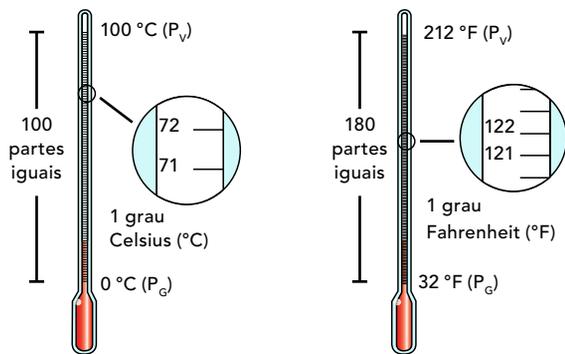
Ao analisar a temperatura de um corpo, é necessária uma escala termométrica que forneça um valor numérico para essa medida. Para se estabelecer uma escala termométrica, devem ser utilizadas as seguintes regras.

- São selecionados dois sistemas que estejam em algum tipo de situação simples, de temperatura invariável e bem definida (ponto fixo). Normalmente, são utilizados como primeiro ponto fixo o de fusão do gelo a 1 atm e, como segundo ponto fixo, o de ebulição da água, também a 1 atm.



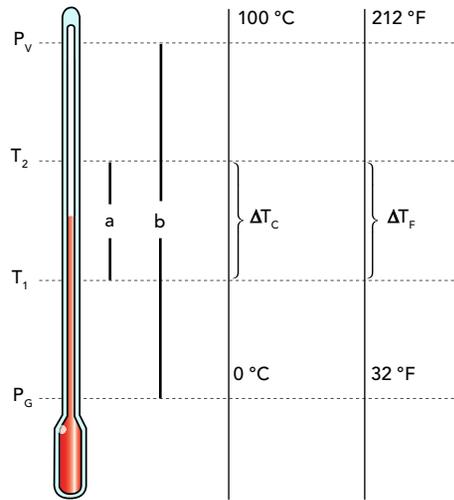
- Induz-se o termômetro a entrar em equilíbrio com cada um dos pontos fixos e, posteriormente, são atribuídos a eles valores numéricos arbitrários.
- Divide-se o intervalo entre os dois pontos fixos em partes iguais, que se constituirão na unidade da escala, ou seja, seu grau.

Dois escalas termométricas que se tornaram bastante comuns são as escalas Celsius e Fahrenheit. Na escala Celsius, o valor 0 (zero) é atribuído ao ponto do gelo, e o valor 100, ao ponto do vapor. Dessa forma, o intervalo entre os pontos fixos fica então dividido em cem partes iguais, o que faz essa escala ser muitas vezes chamada de **centígrada**. Cada unidade da escala se constitui em 1 grau Celsius, simbolizado por **°C**. Essa é a escala mais usada em todo mundo, mas, em países como os Estados Unidos, é muito comum a escala Fahrenheit, a qual atribui o valor 32 ao ponto do gelo e 212 ao ponto do vapor. Assim, tem-se, então, um intervalo entre os pontos fixos dividido em 180 partes iguais, em que cada uma se constitui em 1 grau Fahrenheit, simbolizado por **°F**.



Variação de temperatura

Quando se trata de uma variação de temperatura, a maneira de obter a relação entre uma variação em Celsius e seu respectivo valor em Fahrenheit é muito parecida com a comparação realizada para relações entre temperaturas. Observe a seguinte figura.

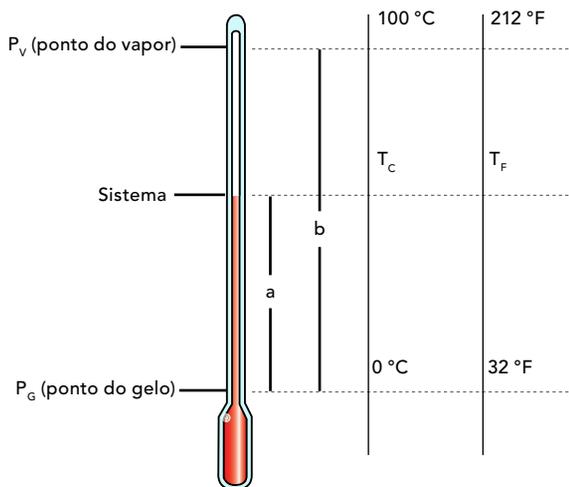


Toma-se o segmento **a** como sendo a variação a ser determinada em cada escala e **b** o intervalo entre os pontos fixos do gelo (P_g) e do vapor (P_v). Como a variação em uma das escalas é proporcional à variação correspondente na outra, tem-se:

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta T_C}{100 - 0} = \frac{\Delta T_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta T_C}{100} = \frac{\Delta T_F}{180} \Rightarrow \frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9}$$

Relação entre as escalas Celsius e Fahrenheit

Com base na forma como as escalas Celsius e Fahrenheit estão estruturadas, é possível estabelecer a relação de conversão entre elas. Para isso, observe a figura a seguir.



A relação entre elas é feita tomando-se a proporção entre os segmentos **a** e **b**. Dessa forma, tem-se:

$$\frac{a}{b} = \frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} \Rightarrow \frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$$

Note que, da maneira como foi estabelecida a proporção, o resultado obtido foi uma função do 1º grau, quando relacionadas as escalas Celsius e Fahrenheit.

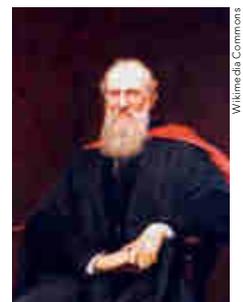
Escala absoluta de temperatura ou escala Kelvin

Pelo que já foi discutido, é possível perceber a ligação existente entre o grau de agitação das moléculas de um dado sistema e sua respectiva temperatura. A temperatura é a própria medida desse grau de agitação.

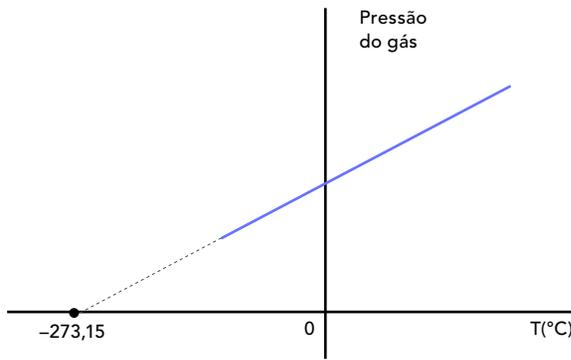
Imagine, por exemplo, uma determinada amostra de gás. Cada partícula que o constitui descreve um movimento desordenado denominado agitação térmica, associado à energia cinética que cada partícula possui. Quando esse gás é aquecido, sua temperatura aumenta, provocando o aumento do grau de agitação das partículas que o constituem. Se, eventualmente, esse gás for resfriado cada vez mais, o grau de agitação vai diminuindo. Prosseguindo com o resfriamento, o grau de agitação continuará a diminuir, até atingir seu menor valor, um valor praticamente nulo. A esse menor estado de agitação, associa-se o valor de temperatura denominado **zero absoluto**. Baseado na observação de que, ao resfriar um gás de 0 °C para -1 °C, a volume constante, sua pressão diminuía aproximadamente $\frac{1}{273}$ do seu valor inicial, o físico inglês

William Thomson (conhecido como Lord Kelvin), em 1848, propôs a escala absoluta.

No gráfico a seguir, note que, por extrapolação, a pressão do gás tende a zero quando sua temperatura tende a -273,15 °C. Essa temperatura é definida como zero absoluto. Por questões práticas, normalmente utiliza-se o valor aproximado para -273 °C.



Lord Kelvin



A origem (zero) da escala absoluta é o próprio zero absoluto. Sua unidade é o kelvin (símbolo K). Por convenção, a partir de 1967, passou-se a não utilizar mais o termo grau kelvin (°K), como antigamente, ficando apenas kelvin (K).

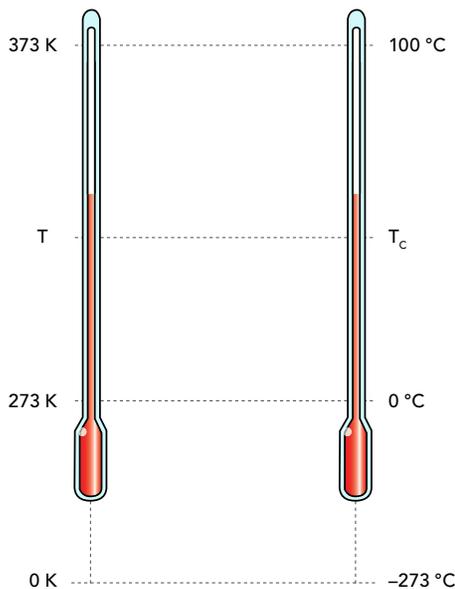
Varição de temperatura

Na escala absoluta, adota-se o Celsius como unidade de variação. Consequentemente, a variação de temperatura de 1 °C tem a mesma extensão que a de 1 K. Dessa forma, conclui-se que uma determinada variação de temperatura na escala Celsius (ΔT_C) tem o mesmo valor numérico que a respectiva variação na escala Kelvin (ΔT), ou seja:

$$\Delta T_C = \Delta T$$

Relação entre as escalas Celsius e Kelvin

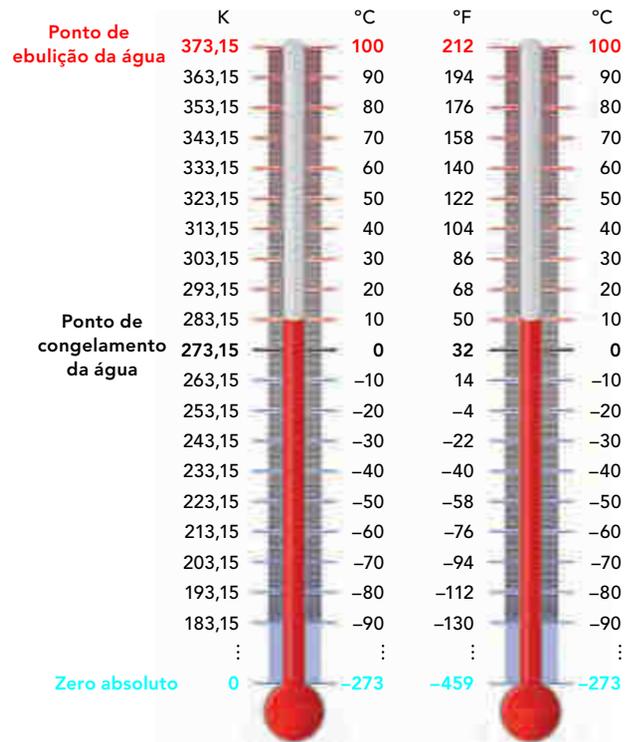
Apesar de terem variações iguais, as escalas Celsius e Kelvin não apresentam o mesmo valor numérico para uma determinada temperatura. Tomando-se, mais uma vez, a referência dos pontos fixos, o ponto de fusão do gelo (0 °C) corresponde ao valor de 273 K e o ponto de ebulição da água (100 °C) corresponde ao valor de 373 K, conforme mostra o esquema a seguir.



Fazendo mais uma vez a proporção entre os segmentos dos termômetros, é definido que:

$$\frac{T - 273}{373 - 273} = \frac{T_C - 0}{100 - 0} \Rightarrow T = T_C + 273$$

Observe a imagem a seguir, que ilustra a comparação entre a escala Celsius e as demais escalas termométricas.



Atividades para sala

- No LHC (Grande Colisor de Hádrons), as partículas vão correr umas contra as outras em um túnel de 27 km de extensão, que tem algumas partes resfriadas a $-271,25$ °C. Os resultados oriundos dessas colisões, entretanto, vão seguir pelo mundo todo. A grade do LHC terá 60 mil computadores. O objetivo da construção do complexo franco-suíço, que custou US\$10 bilhões e é administrado pelo CERN (Organização Europeia de Pesquisa Nuclear, na sigla em francês), é revolucionar a forma de se enxergar o Universo.

Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br>>. Acesso em: 5 abr. 2010.



Ímã gigante é instalado em uma das cavernas do LHC (Grande Colisor de Hádrons), a máquina mais poderosa do mundo.

A temperatura citada no texto corresponde, nas escalas Fahrenheit e Kelvin, respectivamente, aos valores aproximados de

- 456 e 544.
- 456 e 2.
- 520 e 544.
- 520 e 2.
- 456 e -2.

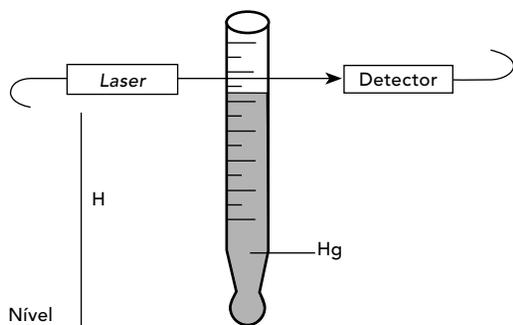
2. Nos pontos de fusão e de ebulição da água, as colunas líquidas de um termômetro de mercúrio valem, respectivamente, 10,0 cm e 25,0 cm. Para a temperatura de 33,3 °C, a altura aproximada dessa coluna, em centímetros, vale
- a) 5,00. c) 15,0. e) 25,0.
b) 10,0. d) 20,0.

3. O texto a seguir foi extraído de uma matéria sobre congelamento de cadáveres para sua preservação por muitos anos, publicada no jornal *O Estado de S. Paulo*, de 21/07/2002.

“Após a morte clínica, o corpo é resfriado com gelo. Uma injeção de anticoagulantes é aplicada e um fluido especial é bombeado para o coração, espalhando-se pelo corpo e empurrando para fora os fluidos naturais. O corpo é colocado em uma câmara com gás nitrogênio, onde os fluidos endurecem em vez de congelar. Assim que atinge a temperatura de -321°, o corpo é levado para um tanque de nitrogênio líquido, onde fica de cabeça para baixo.”

Na matéria, não consta a unidade de temperatura usada. Considerando que o valor indicado de -321° esteja correto e que pertença a uma das escalas, Kelvin, Celsius ou Fahrenheit, pode-se concluir que foi usada a escala

- a) Kelvin, pois se trata de um trabalho científico e esta é a unidade adotada pelo Sistema Internacional.
b) Fahrenheit, por ser um valor inferior ao zero absoluto e, portanto, só pode ser medido nessa escala.
c) Fahrenheit, pois as escalas Celsius e Kelvin não admitem esse valor numérico de temperatura.
d) Celsius, pois só ela tem valores numéricos negativos para a indicação de temperaturas.
e) Celsius, por tratar-se de uma matéria publicada em língua portuguesa e essa ser a unidade adotada oficialmente no Brasil.
4. Um termômetro digital, localizado em uma praça da Inglaterra, marca a temperatura de 10,4 °F. Essa temperatura, na escala Celsius, corresponde a
- a) -5 °C. c) -12 °C. e) -39 °C.
b) -10 °C. d) -27 °C.
5. Construiu-se um alarme de temperatura baseado em uma coluna de mercúrio e em um sensor de passagem, como sugere a figura a seguir.



A altura do sensor óptico (par *laser-detector*), em relação ao nível H, pode ser regulada de modo que, à temperatura desejada, o mercúrio, subindo pela coluna, impeça a chegada de luz ao detector, disparando o alarme. Calibrou-se o termômetro usando os pontos principais da água e um termômetro auxiliar, graduado na escala centígrada, de modo que a 0 °C a altura da coluna de mercúrio é igual a 8 cm, enquanto a 100 °C, a altura é de 28 cm. A tempe-

ratura do ambiente monitorado não deve exceder 60 °C. O sensor óptico (par *laser-detector*) deve, portanto, estar a uma altura H de

- a) 20 cm. c) 10 cm. e) 4 cm.
b) 12 cm. d) 6 cm.
6. Um internauta, comunicando-se em uma rede social, tem conhecimento de que, naquele instante, a temperatura em Nova York é $T_{NY} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$, em Roma é $T_{RO} = 291 \text{ K}$ e em São Paulo, $T_{SP} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Comparando essas temperaturas, estabelece-se que
- a) $T_{NY} < T_{RO} < T_{SP}$ d) $T_{RO} < T_{SP} < T_{NY}$
b) $T_{SP} < T_{RO} < T_{NY}$ e) $T_{NY} < T_{SP} < T_{RO}$
c) $T_{RO} < T_{NY} < T_{SP}$



Atividades propostas

Texto para a questão 1.

O lugar mais frio do mundo

Ainda existe um lugar na Terra onde o ser humano jamais pisou. Ele se chama Ridge A (“cordilheira A”, em inglês), fica a 4 mil metros de altitude – 30% mais alto que a cidade de La Paz, na Bolívia – e está a 600 quilômetros do Polo Sul. Mas a principal característica desse lugar, que acaba de ser revelado por imagens de satélite, é outra: Ridge A é o ponto mais frio da face da Terra, com temperatura média de 70 graus Celsius negativos. Até então, acreditava-se que o lugar mais frio do mundo fosse o lago Vostok, na Antártida, que chegou a registrar 90 graus Celsius negativos. Mas isso foi uma exceção. “Na média, Ridge A é muito mais frio do que o lago Vostok ou qualquer outro lugar conhecido”, afirma Will Saunders, astrônomo da Universidade de New South Wales e descobridor do lugar.

Superinteressante, n. 271, p. 32. (adaptado)

1. Diferentemente dos brasileiros, que usam a escala de temperatura Celsius, os americanos utilizam a escala de temperatura Fahrenheit. Se esse texto fosse dirigido a estudantes americanos, a temperatura de -70 °C seria equivalente a
- a) -94 °F. c) -55 °F. e) 0 °F.
b) -60 °F. d) -40 °F.

2. Leia o texto a seguir.

[...] Ainda existem discordâncias sobre o local ideal para mensurar a temperatura corporal. Pode ser axilar, bucal, timpânico, esofágico, nasofaringiano, vesical e retal. Os locais habitualmente mensurados são

- axilar: temperatura normal encontra-se entre 35,5 a 37,0 °C, com média de 36,0 a 36,5 °C;
- bucal: temperatura normal encontra-se entre 36,0 a 37,4 °C;
- retal: temperatura normal encontra-se entre 36,0 a 37,5 °C.

Disponível em: <<http://fisiologia.med.up.pt>>. Acesso em: 10 jun. 2014. (adaptado)

Transformando esses valores para escala Kelvin, a temperatura normal, na região bucal, encontra-se entre

- a) 308,0 a 311,5. d) 309,0 a 310,5.
b) 308,5 a 310,0. e) 310,2 a 310,4.
c) 309,0 a 310,4.

3. Durante uma temporada de férias na casa de praia, em certa noite, o filho caçula começa a apresentar um quadro febril preocupante. A mãe, para saber com exatidão a temperatura dele, usa um velho termômetro de mercúrio, que não apresenta mais com nitidez os números referentes à escala de temperatura em grau Celsius. Para resolver esse problema e aferir com precisão a temperatura do filho, a mãe decide graduar novamente a escala do termômetro, usando como pontos fixos as temperaturas do gelo e do vapor da água. Os valores que ela obtém são: 5 cm para o gelo e 25 cm para o vapor. Com essas aferições, a mãe coloca o termômetro no filho e observa que a coluna de mercúrio para de crescer quando atinge a marca de 13 cm. Com base nessas informações, a mãe conclui que a temperatura do filho é de

- a) 40,0 °C. c) 39,0 °C. e) 38,0 °C.
b) 39,5 °C. d) 38,5 °C.

4. Dona Maria tem um filho chamado Pedrinho, que apresentava os sintomas característicos da gripe causada pelo vírus H1N1: tosse, dor de garganta, dor nas articulações e suspeita de febre. Para saber a temperatura corporal do filho, pegou seu termômetro digital. Entretanto, a pilha do termômetro tinha se esgotado. Como alternativa, resolveu utilizar o termômetro de mercúrio da avó, porém constatou que a escala do termômetro tinha se apagado com o tempo, sobrando apenas a temperatura mínima da escala 35 °C e a temperatura máxima de 42 °C. Lembrou-se, então, de suas aulas de termometria do Ensino Médio. Primeiro, ela mediu a distância entre as temperaturas mínima e máxima e observou $h = 10$ cm. Em seguida, colocou o termômetro embaixo do braço do filho, esperou o equilíbrio térmico e, com uma régua, mediu a altura da coluna de mercúrio a partir da temperatura de 35 °C, ao que encontrou $h = 5$ cm. Com base no texto, assinale a alternativa correta.

- a) Pedrinho estava com febre, pois sua temperatura era de 38,5 °C.
b) Pedrinho não estava com febre, pois sua temperatura era de 36,5 °C.
c) Uma variação de 0,7 °C corresponde a um deslocamento de 0,1 cm na coluna de mercúrio.
d) Se a altura da coluna de mercúrio fosse $h = 2$ cm, a temperatura correspondente seria de 34 °C.
e) Não é possível estabelecer uma relação entre a altura da coluna de mercúrio com a escala termométrica.

5. Um cientista russo criou uma nova escala de temperatura e deu a ela o nome de seu filho, Yuri. Nessa escala, a temperatura de fusão do gelo vale -20 °Y e a temperatura de ebulição da água vale 120 °Y. Utilizando um termômetro graduado nessa escala para medir a temperatura corporal de seu filho, o cientista encontra o valor de 36 °Y. Pode-se afirmar que

- a) o garoto tem febre, pois possui temperatura equivalente a 40 °C.
b) o garoto tem hipotermia, pois possui temperatura equivalente a 32 °C.
c) o garoto possui temperatura normal, de aproximadamente 36 °C.
d) a temperatura de 36 °Y é impossível, pois é menor do que o zero absoluto.
e) a medida está errada, pois a temperatura de 36 °Y seria correspondente a 90 °C.

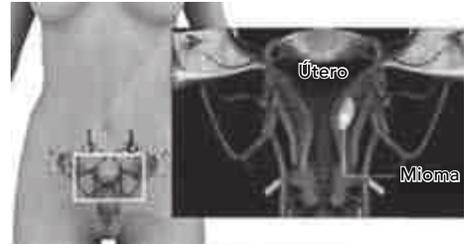
6. Os termômetros são instrumentos utilizados para medir temperaturas. Os mais comuns se baseiam na variação de volume sofrida por um líquido considerado ideal, contido em um tubo de vidro cuja dilatação é desprezada. Em um

termômetro, no qual se utiliza mercúrio, observa-se que a coluna desse líquido “sobe” cerca de 2,7 cm para um aquecimento de 3,6 °C. Se a escala termométrica fosse a Fahrenheit, para um aquecimento de 3,6 °F, a coluna de mercúrio “subiria”

- a) 11,8 cm. c) 2,7 cm. e) 1,5 cm.
b) 3,6 cm. d) 1,8 cm.

Texto para a questão 7.

Exterminador de miomas



Aparelho de ultrassom que elimina tumores benignos de útero deve chegar ao Brasil até o fim do ano. O método é relativamente simples: por meio de um aparelho de ultrassom, combinado com um equipamento de ressonância magnética que orienta a aplicação, o médico aumenta a temperatura do tecido doente de 37 °C para aproximadamente 80 °C. É esse calor intenso que destrói o tumor.

Veja, 10 maio 2006. (adaptado)

7. Para as mais diversas grandezas, existem vários tipos de unidades. Para a temperatura, por exemplo, destacam-se as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin. No texto anterior, comenta-se sobre um método de extermínio de miomas em úteros, usando aquecimento com ultrassom. Na escala Fahrenheit, qual é o valor correspondente à variação de temperatura a que o tecido deve ser submetido no procedimento?

- a) 32,9 c) 58,5 e) 89,7
b) 43,0 d) 77,4

8. Dois termômetros idênticos possuem como substância termométrica o álcool etílico. Um deles, graduado na escala Celsius, e o outro, graduado na escala Fahrenheit, estão sendo usados, simultaneamente, por um aluno para medir a temperatura de um mesmo sistema físico no laboratório de sua escola. Nessas condições, pode-se afirmar corretamente que

- a) os dois termômetros nunca registrarão valores numéricos iguais.
b) a unidade de medida do termômetro graduado na escala Celsius é 1,8 vezes maior que a da escala Fahrenheit.
c) a altura da coluna líquida será igual nos dois termômetros, porém com valores numéricos sempre diferentes.
d) a altura da coluna líquida será diferente nos dois termômetros.
e) a altura da coluna líquida será diferente só para algumas temperaturas do sistema físico analisado.

Texto para a questão 9.

Você já pensou em passar a noite em uma geladeira ou dormir sobre uma grande pedra de gelo?

Apesar de a ideia ser assustadora, já existem hotéis feitos de gelo que são como imensos iglus. O primeiro hotel de gelo do mundo, o Hotel Ice, fica na Suécia. Esse hotel possui paredes, camas, mesas e tudo o que existe em um hotel normal, só que de gelo. Não há como não se impressionar.



Hotel Ice, na Suécia.

A inusitada construção é branca, transparente e costuma durar apenas o período do inverno, porque depois o gelo derrete.

9. Em 2009, Raquel hospedou-se no Hotel Ice. Naquela noite, observou que o termômetro marcava, na escala Fahrenheit (°F), para a temperatura externa, $-32\text{ }^{\circ}\text{F}$ e, para a interna do hotel, $23\text{ }^{\circ}\text{F}$. Curiosa, Raquel resolveu calcular, em graus Celsius (°C), essas temperaturas. Sabendo que, para a água, o ponto de gelo é $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ e que o ponto de vapor é $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $212\text{ }^{\circ}\text{F}$, concluiu que a temperatura externa do hotel e a temperatura interna valiam, respectivamente, em graus Celsius,

	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)
a)	-35	-5
b)	-32	-8
c)	-31	23
d)	-25	10
e)	5	7

Texto para a questão 10.

O que é febre?

Febre é a elevação da temperatura do corpo acima dos valores normais para o indivíduo. São aceitas como indicadores de febre as temperaturas: retal acima de $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ e axilar ou oral acima de $37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Local de verificação da temperatura

A temperatura retal é a mais elevada, a bucal é intermediária e a axilar é a mais baixa quando medida nas mesmas condições. A temperatura axilar normal é $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pela manhã a $37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ à tarde, sendo a temperatura bucal, aproximadamente, $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ maior do que a axilar e a retal de $0,8$ a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ superior à axilar, podendo a temperatura retal atingir $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e até mesmo $38,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Disponível em: <<http://www.abcdasaude.com.br>>. (adaptado)

Vale a pena registrar que o texto é claro para quem trabalha com a escala Celsius (°C), como os brasileiros, porém, pessoas que estão acostumadas com a escala Fahrenheit (°F) poderiam encontrar dificuldade na interpretação dos valores descritos. Portanto, para não deixar que erros de medições em escalas diferentes aconteçam, pode-se dizer que, variações em $^{\circ}\text{C}$ estão para 5 assim como variações em $^{\circ}\text{F}$ estão para 9.

10. Usando as informações fornecidas, pode-se afirmar que a diferença entre a temperatura axilar normal à tarde e de manhã é, em $^{\circ}\text{F}$,

- a) 0,50.
- b) 0,72.
- c) 0,93.
- d) 1,12.
- e) 1,26.

11. Com seus sentidos, o ser humano começou a ter contato com o mundo físico que o cerca. O médico grego Galeno, no século II a.C., sugeriu que as sensações de quente e frio fossem medidas com base em uma escala de quatro divisões. Após 1300 anos, Harme de Berna desenvolveu uma escala de temperatura baseada nas latitudes terrestres. Galileu, utilizando a expansão do ar, desenvolveu um

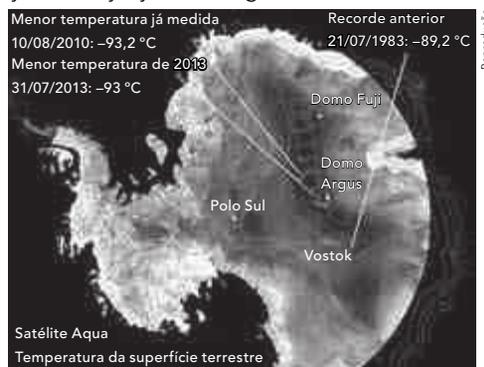
termoscópio com uma escala mais precisa para leitura, dividida em graus de calor. Com o passar dos tempos e a aquisição de novos conhecimentos, desenvolveram-se termômetros que utilizavam diferentes substâncias (álcool, óleo de linhaça, mercúrio, gás) até os termômetros digitais, sempre acompanhados de diferentes escalas, com maior precisão de leitura, que foram padronizadas e aperfeiçoadas (°C e °F, por exemplo) até chegar a uma escala de referência, Kelvin (K), que possui o zero absoluto.

De acordo com o texto, o desenvolvimento do termômetro e das escalas

- a) facilitou a leitura da quantidade de energia transferida entre dois corpos.
- b) permitiu medir temperaturas mais baixas que o zero absoluto.
- c) permitiu que a indústria de construção de termômetros aperfeiçoasse as escalas.
- d) aconteceu pela necessidade de o homem comparar qual objeto estava quente ou frio.
- e) tornou difícil ao homem adquirir conhecimentos para aperfeiçoar a construção de escalas.

12. Um dos lugares mais frios da Terra

Satélites da NASA localizaram um dos lugares mais frios do nosso planeta, no cume de um monte localizado na Antártida, nas proximidades do Polo Sul. A temperatura mais fria já registrada na Terra chegou a $-93,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que é vários graus mais frio do que o recorde anterior. Os pesquisadores analisaram 32 anos de dados de vários instrumentos e de vários satélites em busca de ocorrências capazes de gelar os ossos. O novo recorde de $-93,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ foi batido no dia 10 de agosto de 2010. Na verdade, as temperaturas despencaram para níveis recorde dezenas de vezes na região, em "bolsões" nas proximidades de um pico entre o Dome Argus e o Dome Fuji. O recorde de temperatura mais fria da Terra é vários graus mais frio do que o registro de $-89,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ anterior, registrado em 1983 na Estação de Pesquisa russa Vostok, também na Antártida. O lugar mais frio permanentemente habitado na Terra fica no nordeste da Sibéria, onde as temperaturas nas cidades de Verkhoyansk e Oymyakon atingiram $-67,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 1892 e 1933.



Após a leitura do artigo, pode-se concluir que o novo recorde de menor temperatura já medida é, aproximadamente, quantos graus Fahrenheit e quantos Kelvin menor que a mais baixa temperatura do lugar mais frio permanentemente habitado, no nordeste da Sibéria?

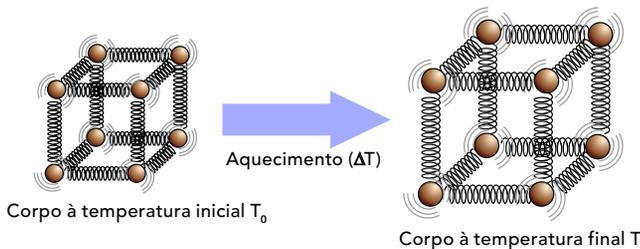
- a) $25,4\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $34,2\text{ K}$.
- b) $45,7\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $25,4\text{ K}$.
- c) $77,7\text{ }^{\circ}\text{F}$ e 298 K .
- d) $54,2\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $42,2\text{ K}$.
- e) $25,4\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $25,4\text{ K}$.

Dilatação térmica

Nesta aula, o foco será nos efeitos que o aumento ou a diminuição da temperatura causa nos corpos.

Quase sempre quando a temperatura aumenta, as dimensões dos corpos também aumentam. Esse fenômeno chama-se **dilatação térmica**. Quando existe diminuição na temperatura, o fenômeno inverso é chamado de **contração térmica**.

Os átomos de qualquer sólido são unidos por um conjunto de forças muito fortes. Quando há um aumento de temperatura, os átomos vibram mais intensamente, fazendo com que eles se afastem uns dos outros, causando, assim, a dilatação dos corpos, conforme ilustra a figura a seguir. Esse fenômeno faz com que as dimensões do sólido se alterem e o corpo aumente de tamanho, ocorrendo o processo inverso na contração térmica.



No dia a dia, é muito fácil notar algumas construções que deixam espaços para que ocorra a dilatação sem haver danos à estrutura, por exemplo, entre os trilhos de uma linha férrea, nas quadras de futebol, em pontes e viadutos. Nesses lugares, existem pequenas fendas de dilatação que possibilitam a expansão da estrutura, conforme mostrado na figura a seguir.



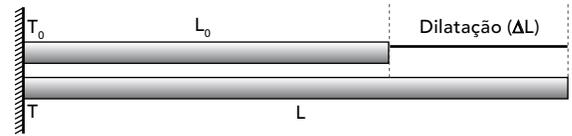
Detalhe mostrando separação entre trilhos.

Nos corpos, a dilatação ou contração ocorre simultaneamente em todas as dimensões. Para facilitar os estudos, elas serão estudadas separadamente.

- **Linear** – A dilatação de uma dimensão.
- **Superficial** – A dilatação da área de uma superfície.
- **Volumétrica** – A dilatação do volume de um corpo.

Dilatação linear

Considere a seguinte situação: uma barra de metal (ferro, por exemplo), de comprimento inicial L_0 , à temperatura inicial T_0 , é aquecida a uma temperatura final T , conforme a figura a seguir. Observa-se que a barra, após o aquecimento, deixa de possuir o mesmo comprimento, ou seja, sofreu uma dilatação. Vale ressaltar que, normalmente, essas dilatações são muito pequenas.



A dilatação (ΔL) sofrida pela barra é diretamente proporcional à variação de temperatura (ΔT) e ao seu comprimento inicial (L_0). Se a experiência for repetida com outra barra (de aço, por exemplo), ela terá o mesmo comportamento da barra de ferro, porém com uma dilatação específica para cada material. A dilatação pode ser calculada por meio da diferença entre L e L_0 , ou seja, $\Delta L = L - L_0$.

Baseado no que foi exposto, a dilatação dos corpos é dada por:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Nessa equação, α é uma grandeza chamada de **coeficiente de dilatação linear** característico, provando que a dilatação é específica para cada material. A unidade do coeficiente de dilatação (α) é o inverso do grau Celsius, $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Pode-se obter outra fórmula para o cálculo da dilatação linear substituindo o ΔL por $L - L_0$ na fórmula anterior:

$$L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

A tabela a seguir mostra o coeficiente de dilatação linear de alguns materiais.

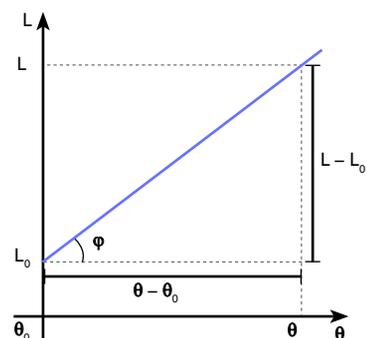
Material	$\alpha \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
Alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
Latão	$19 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Aço	$11 \cdot 10^{-6}$
Vidro comum	$9 \cdot 10^{-6}$

Tome nota

Quanto maior o coeficiente α , mais facilmente um corpo tende a se dilatar com o aumento de temperatura.

Gráfico da dilatação linear

Observando a expressão matemática para a dilatação linear, $L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$, nota-se que é uma equação do 1º grau, com o L variando em função da temperatura ΔT . Logo, o gráfico será uma reta.



Determinando a $\text{tg } \varphi$, tem-se:

$$\text{tg } \varphi \stackrel{N}{=} \frac{L - L_0}{T - T_0} \Rightarrow \text{tg } \varphi \stackrel{N}{=} \frac{\Delta L}{\Delta T} \text{ (I)}$$

Lembre-se de que a fórmula $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$ pode ser reescrita como:

$$\frac{\Delta L}{\Delta T} = L_0 \cdot \alpha \text{ (II)}$$

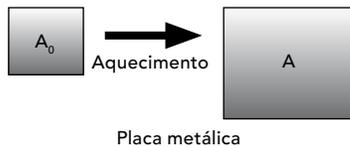
Iguando I com II:

$$\text{tg } \varphi \stackrel{N}{=} \alpha \cdot L_0, \text{ a tg } \varphi \text{ é numericamente igual ao produto } L_0 \cdot \alpha.$$

Dilatação superficial

O estudo da dilatação superficial é semelhante ao da dilatação linear, porém, nesse tipo de dilatação, o corpo sofre uma variação em duas dimensões, isto é, ocorre variação da área.

Na figura a seguir, à temperatura inicial T_0 , a placa possui área inicial A_0 . Depois de ser aquecida, sua área aumenta, atingindo, assim, novas dimensões. A placa se expande devido ao aumento no grau de agitação das moléculas que a compõem. Logo, com temperatura final T , a placa metálica passa a ter área final A .



Para calcular a variação na área sofrida pela placa, basta simplesmente fazer:

$$\Delta A = A - A_0$$

Assim como na dilatação linear, a variação da área (ΔA) sofrida pela placa é diretamente proporcional à variação da temperatura (ΔT) e à sua área inicial A_0 . A dilatação superficial dos corpos é dada por:

$$\Delta A = A_0 \cdot b \cdot \Delta T$$

O **coeficiente de dilatação superficial** do material que constitui a placa é representado por β . Ele possui a mesma unidade do coeficiente de dilatação linear (α), $^{\circ}\text{C}^{-1}$, porém a relação entre os dois é dada por: $\beta = 2\alpha$.

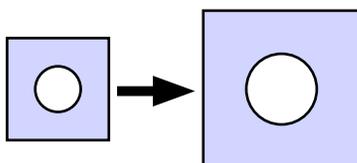
Pode-se obter outra fórmula para o cálculo da dilatação superficial; assim como na dilatação linear, basta substituir o ΔA por $A - A_0$ na fórmula. Dessa forma,

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow A - A_0 = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow A = A_0 + A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T;$$

$$\text{colocando o } A_0 \text{ em evidência, isto é:}$$

$$A = A_0(1 + b \cdot \Delta T)$$

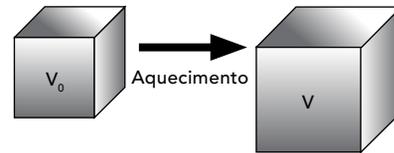
Tome nota Quando um corpo possui cavidades ou furos, eles se dilatam como se estivessem preenchidos com o mesmo material do corpo.



Dilatação volumétrica

A dilatação volumétrica ocorre de maneira semelhante às dilatações linear e superficial, no entanto, acontece nas três dimensões, alterando o volume do corpo. Para estudar a dilatação volumétrica, imagine um cubo metálico que possui um volume inicial V_0 a uma temperatura inicial T_0 . Aquecendo o cubo até a temperatura final T , seu volume será alterado para um volume final V .

A figura a seguir mostra esse processo. Para determinar a variação de volume ΔV , basta calcular:



$$\Delta V = V - V_0$$

Assim como na dilatação linear, a variação do volume (ΔV) sofrida pelo cubo é diretamente proporcional à variação da temperatura (ΔT) e ao seu volume inicial V_0 . A dilatação volumétrica dos corpos é dada por:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

O γ é o **coeficiente de dilatação volumétrica** do material que constitui o cubo. Ele possui a mesma unidade do coeficiente de dilatação linear (α), $^{\circ}\text{C}^{-1}$, porém a relação entre os dois é dada por $\gamma = 3\alpha$.

Assim como nas demais dilatações, a volumétrica também possui outra fórmula. Ao substituir ΔV por $V - V_0$ na fórmula, tem-se:

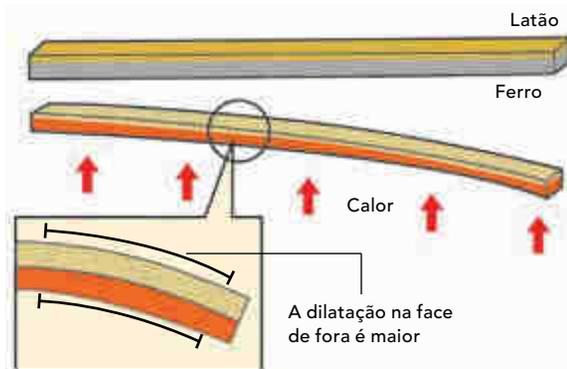
$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow V - V_0 = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow V = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T;$$

$$\text{colocando o } V_0 \text{ em evidência:}$$

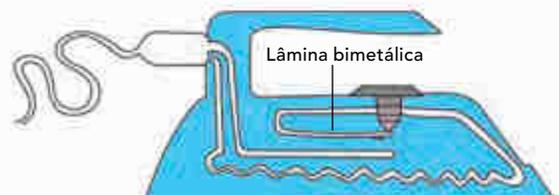
$$V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

Leitura complementar

Lâminas bimetalicas



Como o coeficiente de dilatação linear do latão é maior do que o do ferro, ele dilatará mais que o ferro.

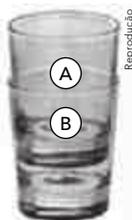


São barras que possuem, geralmente, formato achatado, constituídas de dois metais, cujos coeficientes de dilatação são diferentes, ferro e latão, por exemplo, unidas firmemente em toda sua extensão. Quando a lâmina bimetálica é aquecida, um metal dilata mais que o outro, ocorrendo uma mudança no formato da peça. Aquele metal que possui maior coeficiente de dilatação sofrerá maior acréscimo em seu tamanho. Elas se encurvam da maneira mostrada na figura anterior; o latão tem coeficiente de dilatação maior que o do ferro, pois a dilatação da face de fora é maior. As lâminas bimetálicas são amplamente usadas para provocar aberturas e fechamentos automáticos de circuitos elétricos. Um exemplo prático é o ferro elétrico. A lâmina bimetálica funciona como um termostato, ou seja, um regulador de temperatura, que a mantém praticamente constante. Quando o ferro é aquecido, a lâmina se curva, desligando o circuito. A temperatura então diminui, a lâmina retoma sua posição inicial e o circuito se fecha. Um novo aquecimento faz com que o ciclo se repita, de modo que a temperatura se mantenha em torno de um valor praticamente constante.



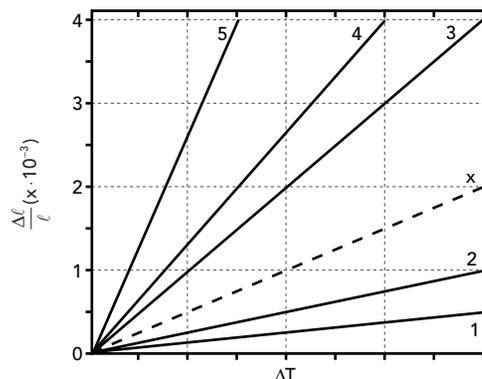
Atividades para sala

- Consultando uma tabela da dilatação térmica dos sólidos, verifica-se que o coeficiente de dilatação linear do ferro é $13 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Portanto, pode-se concluir que
 - em um dia de verão em que a temperatura variar $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, o comprimento de uma barra de ferro de $10,0 \text{ m}$ sofrerá uma variação de $2,6 \text{ cm}$.
 - o coeficiente de dilatação superficial do ferro é $169 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
 - para cada $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ de variação de temperatura, o comprimento de uma barra de $1,0 \text{ m}$ desse material varia $13 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.
 - o coeficiente de dilatação volumétrica do ferro é $39 \cdot 10^{-18} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
 - o coeficiente de dilatação volumétrica do ferro é $26 \cdot 10^{-18} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
- 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. De acordo com a física térmica, o único procedimento capaz de separá-los é
 - mergulhar o copo B em água em equilíbrio térmico com cubos de gelo e encher o copo A com água à temperatura ambiente.
 - colocar água quente (superior à temperatura ambiente) no copo A.
 - mergulhar o copo B em água gelada (inferior à temperatura ambiente) e deixar o copo A sem líquido.
 - encher o copo A com água quente (superior à temperatura ambiente) e mergulhar o copo B em água gelada (inferior à temperatura ambiente).
 - encher o copo A com água gelada (inferior à temperatura ambiente) e mergulhar o copo B em água quente (superior à temperatura ambiente).
- Duas barras metálicas, X e Y, que possuem o mesmo comprimento (l) em temperatura ambiente T_0 , são aquecidas uniformemente até uma temperatura T . Os materiais das barras têm coeficientes de dilatação linear, respectivamente



Reprodução

α_x e α_y , que são positivos e podem ser considerados constantes no intervalo de temperatura $\Delta T = T - T_0$. Na figura a seguir, a reta tracejada X representa o acréscimo relativo $\frac{\Delta l}{l}$ no comprimento da barra X, em função da variação da temperatura.



Sabendo que $\alpha_y = 2\alpha_x$, assinale a alternativa que indica a reta que melhor representa o acréscimo $\frac{\Delta l}{l}$ no comprimento da barra Y, em função da variação da temperatura.

- 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Experimentalmente, verifica-se que o período de oscilação de um pêndulo aumenta com o aumento do comprimento deste. Considere um relógio de pêndulo, feito de material de alto coeficiente de dilatação linear, calibrado à temperatura de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Esse relógio irá
 - atrasar quando estiver em um ambiente cuja temperatura é de $40 \text{ } ^\circ\text{C}$.
 - adiantar quando estiver em um ambiente cuja temperatura é de $40 \text{ } ^\circ\text{C}$.
 - funcionar de forma precisa em qualquer temperatura.
 - atrasar quando estiver em um ambiente cuja temperatura é de $0 \text{ } ^\circ\text{C}$.
 - atrasar em qualquer temperatura.
 - Uma lâmina bimetálica é constituída de duas placas de materiais diferentes, M_1 e M_2 , presas uma à outra. Essa lâmina pode ser utilizada como interruptor térmico para ligar ou desligar um circuito elétrico, como representado esquematicamente na figura 1 a seguir.

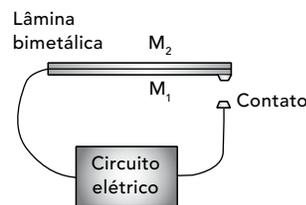


Figura 1

Quando a temperatura das placas aumenta, elas dilatam-se e a lâmina curva-se, fechando o circuito elétrico, como mostrado na figura 2 a seguir.

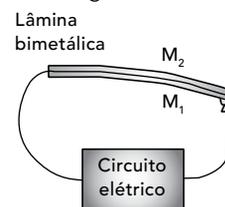


Figura 2

A seguinte tabela mostra o coeficiente de dilatação linear α de diferentes materiais.

Material	α ($10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
Aço	11
Alumínio	22
Bronze	19
Cobre	17
Níquel	13

Considere que o material M_1 é cobre, e o outro, M_2 , deve ser escolhido entre os listados na tabela.

Para que o circuito seja ligado com o menor aumento de temperatura, o material da lâmina M_2 deve ser o

- a) aço. c) bronze. e) níquel.
b) alumínio. d) cobre.

6. **A dilatação térmica no dia a dia**

Quando ocorre um impedimento à livre dilatação ou contração de um corpo, surgem forças internas de tensão que podem levar o corpo a se romper ou a se deformar. Por isso, há muitas situações do cotidiano em que



a dilatação ou contração térmica é “facilitada” para evitar problemas desse tipo. Nas ferrovias, por exemplo, as barras de trilho devem ser assentadas com um espaço entre elas. Nos calçamentos, separam-se as placas de cimento por ripas de madeira ou varas de plástico, que “absorvem” eventuais dilatações das placas.

Disponível em: <<http://fisicanossa.blogspot.com.br>>. Acesso em: 20 fev. 2013. (adaptado)

Pelo que foi descrito no texto, é muito importante se levar em consideração o fenômeno da dilatação em muitas situações do dia a dia. A respeito dos espaçamentos que são deixados entre trilhos em uma ferrovia e entre placas de cimento em um calçamento, pode-se afirmar corretamente que

- os espaçamentos não são sempre necessários se o material dos trilhos ou dos calçamentos for realmente de qualidade.
- os espaçamentos são extremamente aconselháveis, pois eles têm, na realidade, como maior objetivo liberar calor para evitar o superaquecimento da estrutura quando exposta, por exemplo, ao Sol.
- os espaçamentos precisam existir para evitar, por exemplo, que os trilhos se entortem ao encostarem um no outro, devido a um possível aquecimento.
- qualquer dimensão dos espaçamentos entre placas de cimento em um calçamento ou entre trilhos em uma ferrovia resolverá o problema causado pela dilatação, pois ela sempre será muito pequena.
- no dimensionamento dos espaços entre trilhos ou entre placas de cimento, não há necessidade de se conhecer o material de que são constituídos, pois suas possíveis dilatações térmicas só dependem do comprimento inicial e da variação de temperatura ocorrida.

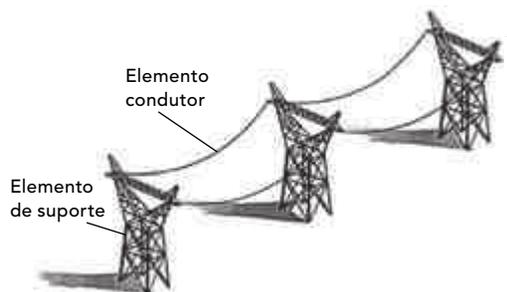


Atividades propostas

- Você foi convidado a projetar uma ponte metálica, cujo comprimento será de 2,0 km. Considerando os efeitos de contração e expansão térmica para temperaturas no intervalo de $-40 \text{ }^\circ\text{F}$ a $110 \text{ }^\circ\text{F}$ e que o coeficiente de dilatação linear do metal é de $12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual a máxima variação esperada no comprimento da ponte?

Dado: o coeficiente de dilatação linear é constante no intervalo de temperatura considerado.

- a) 9,3 m c) 3,0 m e) 0,93 m
b) 6,5 m d) 2,0 m
- Quem viaja de carro ou de ônibus pode ver, ao longo das estradas, torres de transmissão de energia como as da figura a seguir.

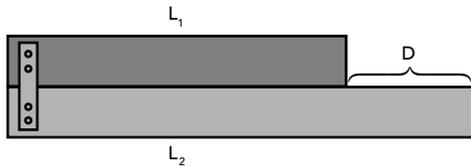


Olhando mais atentamente, é possível notar que os cabos são colocados arqueados ou, como se diz popularmente, “fazendo barriga”. A razão dessa disposição é que

- a densidade dos cabos tende a diminuir com o passar dos anos.
 - a condução da eletricidade em alta tensão é facilitada desse modo.
 - o metal usado na fabricação dos cabos é impossível de ser esticado.
 - os cabos, em dias mais frios, podem encolher sem derrubar as torres.
 - os ventos fortes não são capazes de fazer os cabos, assim dispostos, balançarem.
- Impossibilitados de medir a longitude em que se encontravam, os navegadores que tomaram parte nas grandes explorações marítimas se viam literalmente perdidos no mar tão logo perdessem contato visual com a terra. Milhares de vidas e a crescente riqueza das nações dependiam de uma solução. SOBEL, 1997.

A determinação da longitude ao longo de viagens marítimas é feita pela comparação entre a hora local e a hora no porto de origem. Portanto, é necessário que se tenha, no navio, um relógio que seja ajustado antes de zarpar e marque, precisamente, ao longo de toda a viagem, a hora do porto de origem. Os relógios de pêndulo daquela época não serviam a esse propósito, pois o seu funcionamento sofria influência de muitos fatores, inclusive das variações de temperatura, devido à dilatação e à contração da haste do pêndulo.

A longitude pôde, finalmente, ser determinada por meio de um relógio, no qual o problema das variações de temperatura foi resolvido com a utilização de tiras de comprimentos diferentes feitas de materiais de coeficientes de dilatação diferentes.



Com base nesse mesmo princípio físico, considere um conjunto formado por duas barras de comprimento $L_1 = 10,0$ cm e $L_2 = 15,0$ cm fixadas em uma das extremidades, inicialmente submetida à temperatura T_0 . Supondo que o conjunto tenha sua temperatura aumentada para $T = T_0 + \Delta T$, determine a relação entre os coeficientes de dilatação linear, α_1 e α_2 , das barras, para a qual a distância $D = 5,0$ cm não se altera com a variação de temperatura.

- 1,0
- 1,5
- 2,0
- 2,5
- 3,0

Texto para a questão 4.

Juntas de dilatação

A junta de dilatação é uma separação física entre duas partes de uma estrutura, para que estas possam se movimentar sem transmitir esforços entre si. Caso este espaçamento tenha presença de algum material rígido ou que tenha perdido suas propriedades de elasticidade, ele produzirá tensões indesejáveis na estrutura, impedindo ou restringindo o movimento decorrente da dilatação térmica previsto, originando assim tensões superiores àquelas a serem absorvidas. Logo, poderá ocasionar fissuras nas lajes adjacentes à junta, ocasionando a possibilidade de se propagar às vigas e pilares próximos.

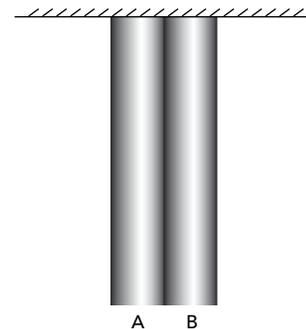


A largura da junta depende do deslocamento previsto, geralmente entre 2 e 3 cm, podendo ser maior. Algumas de suas aplicações mais comuns são em lajes, viadutos, pontes, calçadas e quadras poliesportivas.

Disponível em: <<http://www.brasirio.com>>. Acesso em: 5 maio 2014. (adaptado)

- A engenharia está, a cada dia, procurando desenvolver novas técnicas para aumentar a qualidade, a segurança e a durabilidade das estruturas em geral. Após a leitura do texto, pode-se afirmar que
 - as juntas de dilatação evitam totalmente o surgimento de fissuras na estrutura de uma ponte, por exemplo, pois são espaços nos quais não há trocas de calor com o ambiente.
 - as juntas de dilatação aliviam as tensões na estrutura quando ela sofre aumento de temperatura, já que, com esse aquecimento, ocorrem dilatações térmicas que poderiam comprometer a integridade estrutural.

- o dimensionamento das juntas de dilatação não depende do material em que elas serão aplicadas, pois o único fator relevante é a variação de temperatura a que a estrutura será submetida.
 - o dimensionamento das juntas de dilatação depende do tipo de material em que elas serão aplicadas e, independentemente da variação de temperatura a que a estrutura será submetida, essas juntas sempre evitarão possíveis fissuras.
 - nem sempre as juntas são necessárias, somente nas estruturas que sofram grandes mudanças de temperatura, independentemente de suas constituições materiais.
- A figura a seguir representa uma lâmina bimetálica. O coeficiente de dilatação linear do metal A é a metade do coeficiente de dilatação linear do metal B. À temperatura ambiente, a lâmina está na vertical.
 - continuará na vertical.
 - curvará para a frente.
 - curvará para trás.
 - curvará para a direita.
 - curvará para a esquerda.



Se a temperatura for aumentada em 200°C , a lâmina

- continuará na vertical.
 - curvará para a frente.
 - curvará para trás.
 - curvará para a direita.
 - curvará para a esquerda.
- A figura 1 mostra como duas barras de materiais diferentes estão fixas entre si e a um suporte, e a figura 2 mostra essas mesmas barras, após terem sofrido uma variação de temperatura ΔT .

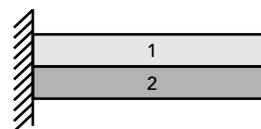


Figura 1

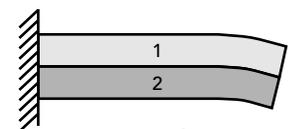


Figura 2

Sabendo que os coeficientes médios de expansão linear dessas barras são α_1 e α_2 , é correto afirmar que

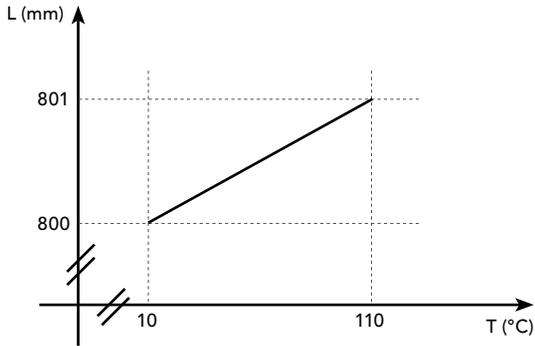
- Se $\alpha_1 < \alpha_2$, então $\Delta T > 0$.
 - Se $\alpha_1 > \alpha_2$, então $\Delta T < 0$.
 - Se $\alpha_1 > \alpha_2$, então $\Delta T > 0$.
 - $\Delta T < 0$, independentemente de α_1 e α_2 .
 - $\Delta T > 0$, independentemente de α_1 e α_2 .
- (ENEM) Para a proteção contra curtos-circuitos em residências, são utilizados disjuntores, compostos por duas lâminas de metais diferentes, com suas superfícies soldadas uma à outra, ou seja, uma lâmina bimetálica. Essa lâmina toca o contato elétrico, fechando o circuito e deixando a corrente elétrica passar. Quando da passagem de uma corrente superior à estipulada (limite), a lâmina se curva para um dos lados, afastando-se do contato elétrico e, assim,

interrompendo o circuito. Isso ocorre porque os metais da lâmina possuem uma característica física cuja resposta é diferente para a mesma corrente elétrica que passa no circuito.

A característica física que deve ser observada para a escolha dos dois metais dessa lâmina bimetálica é o coeficiente de

- a) dureza. d) compressibilidade.
b) elasticidade. e) condutividade elétrica.
c) dilatação térmica.

8. Em um laboratório, um grupo de alunos registrou o comprimento L de uma barra metálica, à medida que sua temperatura T aumentava, obtendo o gráfico a seguir.



Pela análise do gráfico, o valor do coeficiente de dilatação do metal é

- a) $1,05 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. d) $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
b) $1,14 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. e) $1,25 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
c) $1,18 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

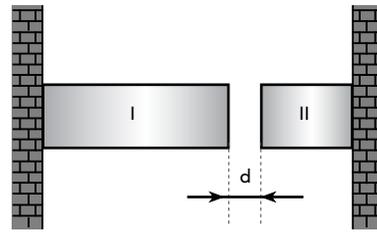
9. No estudo dos materiais utilizados para a restauração de dentes, os cientistas pesquisam, entre outras características, o coeficiente de dilatação térmica. Se for utilizado um material de coeficiente de dilatação térmica inadequado, podem ser provocadas sérias lesões ao dente, como uma trinca ou mesmo sua quebra. Nesse caso, para que a restauração seja considerada ideal, o coeficiente de dilatação volumétrica do material de restauração deverá ser

- a) igual ao coeficiente de dilatação volumétrica do dente.
b) maior que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito frios.
c) menor que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito frios.
d) maior que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito quentes.
e) menor que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito quentes.

10. Uma longa ponte foi construída e instalada com blocos de concreto de 5 m de comprimento a uma temperatura de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ em uma região na qual a temperatura varia ao longo do ano entre $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $40 \text{ } ^\circ\text{C}$. O concreto destes blocos tem coeficiente de dilatação linear de $10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Nessas condições, qual distância, em cm, deve ser resguardada entre os blocos na instalação para que, no dia mais quente do verão, a separação entre eles seja de 1 cm?

- a) 1,01 c) 1,20 e) 2,02
b) 1,10 d) 2,00

11. Considere o microsistema a seguir formado por duas pequenas peças metálicas, I e II, presas em duas paredes laterais. Observa-se que, na temperatura de $15 \text{ } ^\circ\text{C}$, a peça I tem tamanho igual a 2 cm, enquanto a peça II possui apenas 1 cm de comprimento. Ainda nessa temperatura, as peças estavam afastadas apenas por uma pequena distância d igual a $5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$.



Sabendo que o coeficiente de dilatação linear α , da peça I é igual a $3 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e que o da peça II (α_{II}) é igual a $4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, qual deve ser a temperatura do sistema, em $^\circ\text{C}$, para que as duas peças entrem em contato sem empenar?

- a) 20 c) 50 e) 80
b) 35 d) 65

Texto para a questão 12.

A origem do vidro Pyrex®

Pyrex® é a marca comercial usada desde 1915 pela Corning Glass Works para a sua linha de recipientes em vidro borossilicato destinada ao mercado doméstico.



A ideia de utilizar vidro borossilicato resistente ao calor e quimicamente inerte para produzir recipientes para cozinha teria surgido em 1913, quando Jesse Littleton, da fábrica de vidro Corning Glass Works, testou em sua casa o uso de uma travessa de levar ao forno feita a partir do fundo de uma jarra de vidro borossilicato. Depois de sua esposa ter cozinhado um bolo nela com sucesso, decidiu propor o lançamento de uma linha de utensílios de cozinha em vidro.

Os primeiros Pyrex® destinavam-se, exclusivamente, ao forno ou a conter produtos a alta temperatura, não podendo ser sujeitos diretamente à chama. Depois de uma década de investigação, em 1924, foi lançada uma linha de Pyrex® resistente à chama.

Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. (adaptado)
Acesso em: 14 abr. 2016.

12. Você já deve ter observado em sua casa que o vidro Pyrex® é mais resistente que o vidro comum às variações de temperatura. Se for colocada água fervente em um copo de vidro comum, ele trinca, mas isso não acontece com o vidro Pyrex®. A explicação para isso é que

- a) o calor específico do Pyrex® é menor que o do vidro comum.
b) o calor específico do Pyrex® é maior que o do vidro comum.
c) para aquecimentos iguais, o vidro comum sofre maior variação de temperatura.
d) o coeficiente de dilatação do vidro comum é menor que o do vidro Pyrex®.
e) o coeficiente de dilatação do vidro comum é maior que o do vidro Pyrex®.

Assim como os sólidos, os líquidos também sofrem dilatação quando aquecidos. Tal expansão segue as mesmas regras estudadas para os sólidos e será volumétrica pelo fato de os líquidos não terem forma própria, assumindo o formato do recipiente no qual estão contidos.

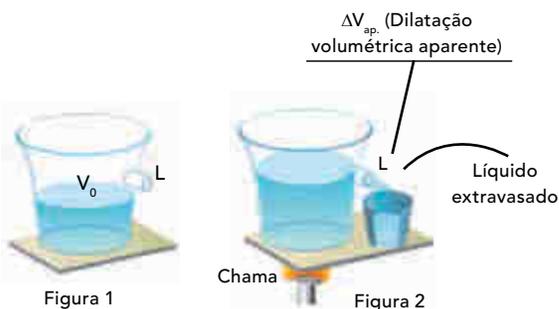
$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

O γ é chamado de **coeficiente de dilatação volumétrica real**, e a sua unidade também é o $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Porém, ao ser aquecido, o conjunto (recipiente + líquido) dilata-se. Agora, têm-se as dilatações real (ΔV), aparente ($\Delta V_{\text{ap.}}$) e do recipiente ($\Delta V_{\text{rec.}}$), e a relação entre elas será dada por:

$$\Delta V = \Delta V_{\text{ap.}} + \Delta V_{\text{rec.}}$$

Para entender melhor essa relação, tome como exemplo a situação a seguir (figura 1): um recipiente dotado de um tubo extravasor (ladrão) e completamente cheio de líquido.



Quando se aquece o recipiente (figura 2), como os líquidos se dilatam geralmente mais do que os sólidos, parte do líquido irá transbordar. O líquido transbordado será a dilatação aparente ($\Delta V_{\text{ap.}}$), que, suponha-se, tenha sido de 10 cm^3 . No entanto, o recipiente também irá dilatar ($\Delta V_{\text{rec.}}$). Supondo que essa dilatação tenha sido de 2 cm^3 , a dilatação real do líquido (ΔV) será de:

$$\Delta V = \Delta V_{\text{ap.}} + \Delta V_{\text{rec.}} \Rightarrow \Delta V = 10 + 2 \Rightarrow \Delta V = 12 \text{ cm}^3$$

Como já se sabe, devido à dilatação do líquido e do recipiente, pode ser utilizada a fórmula da dilatação volumétrica para determinar a dilatação aparente do líquido ou a do recipiente.

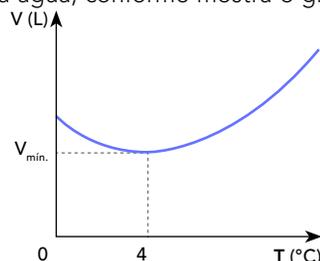
$$\Delta V_{\text{ap.}} = \Delta_{\text{ap.}} \cdot V_0 \cdot \Delta T \quad \text{ou} \quad \Delta V_{\text{rec.}} = \Delta_{\text{rec.}} \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

A relação entre os coeficientes de dilatação real (γ), aparente ($\gamma_{\text{ap.}}$) e do recipiente ($\gamma_{\text{rec.}}$) é dada por:

$$\gamma = \gamma_{\text{ap.}} + \gamma_{\text{rec.}}$$

Dilatação anômala da água

A água sofre um fenômeno bastante diferente dos outros líquidos, diminuindo seu volume no intervalo de temperatura de 0°C a 4°C . Após 4°C , a água sofre dilatação. Esse fenômeno ocorre devido à disposição molecular da água, na qual se tem a quebra das ligações de hidrogênio, de 0°C a 4°C , fazendo as moléculas ficarem mais próximas umas das outras, diminuindo, assim, o volume. Com o aumento da temperatura (acima de 4°C), o grau de agitação das moléculas aumenta, causando a dilatação da água, conforme mostra o gráfico a seguir.



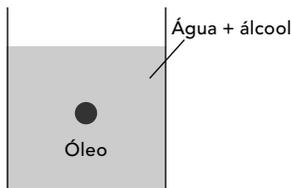
Essa dilatação anômala da água explica o fato de os lagos congelarem apenas na parte superior. Quando a temperatura começa a "cair", a água da superfície fica mais fria, consequentemente, mais densa, e tende a descer; a água da parte inferior do lago é mais quente, logo, por ser menos densa, tende a subir, gerando o que se chama de ciclo de convecção. Entretanto, esse ciclo não ocorrerá quando a temperatura atingir 4°C , pois a essa temperatura a água possui sua máxima densidade – basta lembrar-se da fórmula $d = \frac{m}{V}$, sendo a massa constante e a densidade e o volume inversamente proporcionais. Quando o ciclo de convecção deixa de existir, ou seja, quando a água fria da superfície não puder mais descer, ela começará a congelar na superfície, ficando o restante do lago líquido.

Atividades para sala

- (ENEM) Durante uma ação de fiscalização em postos de combustíveis, foi encontrado um mecanismo inusitado para enganar o consumidor. No inverno, o responsável por um posto de combustível compra álcool por R\$0,50/litro, a uma temperatura de 5°C . Para revender o líquido aos motoristas, instalou um mecanismo na bomba de combustível para aquecê-lo, para que atinja a temperatura de 35°C , sendo o litro de álcool revendido a R\$1,60. Diariamente, o posto compra 20 mil litros de álcool a 5°C e os revende. Com relação à situação hipotética descrita no texto e dado que o coeficiente de dilatação volumétrica do álcool é de $1 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, desprezando-se o custo da energia gasta no aquecimento do combustível, o ganho financeiro que o dono do posto teria obtido devido ao aquecimento do álcool após uma semana de vendas estaria entre
 - R\$ 500,00 e R\$ 1000,00.
 - R\$ 1050,00 e R\$ 1250,00.
 - R\$ 4000,00 e R\$ 5000,00.
 - R\$ 6000,00 e R\$ 6900,00.
 - R\$ 7000,00 e R\$ 7950,00.

2. Um recipiente de vidro encontra-se completamente cheio de um líquido a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quando se aquece o conjunto até $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, o volume do líquido que transborda corresponde a 4% do volume que o líquido possuía a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro é $27 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, o coeficiente de dilatação real do líquido vale
- $27 \cdot 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 - $127 \cdot 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 - $473 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 - $527 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 - $632 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

3. Misturando-se convenientemente água e álcool, é possível fazer com que uma gota de óleo fique imersa, em repouso, no interior dessa mistura, como exemplifica a figura a seguir. Os coeficientes de dilatação térmica da mistura e do óleo valem, respectivamente, $2,0 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $5,0 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.



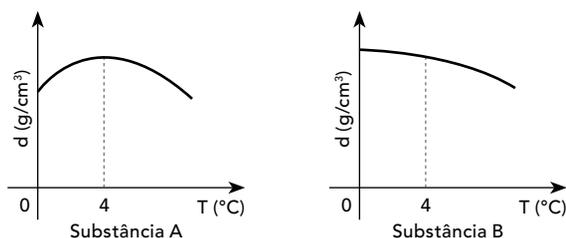
Esfriando-se o conjunto e supondo-se que o álcool não evapore, o volume da gota

- diminuirá, e ela tenderá a descer.
 - diminuirá, e ela tenderá a subir.
 - diminuirá, e ela permanecerá em repouso.
 - aumentará, e ela tenderá a subir.
 - aumentará, e ela tenderá a descer.
4. Uma placa de alumínio, com $2,4\text{ m}^2$ de área à temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi aquecida à $176\text{ }^{\circ}\text{F}$. O aumento de área da placa foi de

Dado: coeficiente de dilatação linear do alumínio = $2 \cdot 10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

- 24 cm^2 .
- 48 cm^2 .
- 96 cm^2 .
- 144 cm^2 .
- 120 cm^2 .

5. Duas substâncias, A e B, têm seus gráficos de densidade \times temperatura representados a seguir.



As substâncias são colocadas a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ em garrafas de vidro distintas, ocupando todo o volume das garrafas. Considere o coeficiente de dilatação do vidro muito menor que o das substâncias A e B. As garrafas são, então, fechadas e colocadas em um refrigerador a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após um longo período de tempo, pode-se dizer que

- a garrafa de A se quebra e a de B, não.
- a garrafa de B se quebra e a de A, não.
- as garrafas de A e B se quebram.
- as garrafas de A e B não se quebram.
- os dados fornecidos não são suficientes para se chegar a uma conclusão.

6. O vidro Pyrex[®] apresenta maior resistência ao choque térmico do que o vidro comum porque
- possui alto coeficiente de rigidez.
 - tem baixo coeficiente de dilatação térmica.
 - tem alto coeficiente de dilatação térmica.
 - tem alto calor específico.
 - é mais maleável que o vidro comum.

Atividades propostas

Texto para a questão 1.

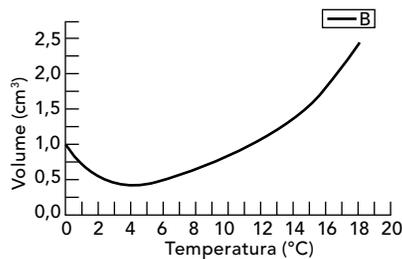
O lago artificial da Usina de Serra da Mesa é o segundo maior lago do Brasil, com área alagada de 1784 km^2 , e o maior em volume, com aproximadamente 54 milhões de km^3 . De acordo com estudos realizados por especialistas em clima, a temperatura média do planeta sofrerá uma variação de $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o ano de 2020 em função do aquecimento global.



1. Levando em consideração os valores citados no texto e desconsiderando o fenômeno da evaporação e o processo de infiltração, pode-se afirmar que a variação do volume da água do lago, devido ao aquecimento global, ao final desse período, será de

Dado: coeficiente de dilatação volumétrica da água $\gamma_{\text{água}} = 1,3 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

- $140,4 \cdot 10^2\text{ km}^3$.
 - $140,4 \cdot 10^{-4}\text{ km}^3$.
 - 14040 m^3 .
 - $14040 \cdot 10^2\text{ m}^3$.
 - $1404 \cdot 10^2\text{ L}$.
2. Quando a temperatura dos sólidos e dos líquidos aumenta, normalmente seus volumes aumentam. Entretanto, algumas substâncias apresentam um comportamento anômalo, como é o caso da água, mostrado no gráfico a seguir. Assinale a afirmativa correta.



- O volume da água aumenta, e sua densidade diminui, quando ela é resfriada abaixo de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - Entre $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a diminuição de temperatura faz com que a água se torne mais densa.
 - Quando a água é aquecida, a partir de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sua densidade e seu volume aumentam.
 - Quando a água está a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ela apresenta a sua menor densidade.
 - Quando a água é aquecida, a partir de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sua densidade e seu volume diminuem.
3. Os postos de gasolina são normalmente abastecidos por um caminhão-tanque. Nessa ação cotidiana, muitas situações interessantes podem ser observadas. Um caminhão-tanque, cuja capacidade é de 40000 litros de gasolina, foi carregado completamente em um dia em que a temperatura ambiente era de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. No instante em que chegou

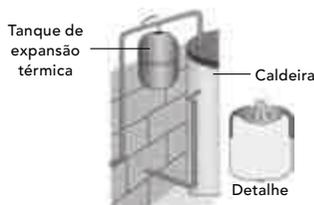
para abastecer o posto, a temperatura ambiente era de 10 °C, devido a uma frente fria, e o motorista observou que o tanque não estava completamente cheio. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação da gasolina é $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e considerando desprezível a dilatação do tanque, é correto afirmar que o volume do ar, em litros, que o motorista encontrou no tanque do caminhão foi de

- a) 40880. c) 8800. e) 880.
b) 31200. d) 4088.

4. Um recipiente de vidro tem capacidade de 500 cm³ e está cheio de um líquido a 10 °C. Sendo o coeficiente de dilatação linear do vidro $6 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido $4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, o volume do líquido, em centímetros cúbicos, que transborda quando a temperatura aumenta para 70 °C é

- a) 6,6. c) 4,3. e) 2,5.
b) 5,8. d) 3,7.

5. O tanque de expansão térmica é uma tecnologia recente que tem por objetivo proteger caldeiras de aquecimento de água. Quando a temperatura da caldeira se eleva, a água se expande e pode romper a caldeira. Para que isso não ocorra, a água passa para o tanque de expansão térmica através de uma válvula; o tanque dispõe de um diafragma elástico que permite a volta da água para a caldeira.



Suponha que você queira proteger uma caldeira de volume 500 litros, destinada a aquecer a água de 20 °C a 80 °C, e que, entre essas temperaturas, pode-se adotar para o coeficiente de dilatação volumétrica da água o valor médio de $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; considere desprezíveis a dilatação da caldeira e do tanque.

Sabendo que o preço de um tanque de expansão térmica para essa finalidade é diretamente proporcional ao seu volume, assinale, entre opções fornecidas, qual deve ser o volume do tanque que pode proporcionar a melhor relação custo-benefício.

- a) 4 litros c) 12 litros e) 20 litros
b) 8 litros d) 16 litros

6. O dono de um posto de gasolina recebeu 4000 L de combustível por volta do meio-dia, quando a temperatura era de 35 °C. Ao cair da tarde, uma massa polar vinda do Sul baixou a temperatura para 15 °C e permaneceu até que toda a gasolina fosse totalmente vendida. Qual foi o prejuízo, em litros de combustível, que o dono do posto sofreu?

Dado: coeficiente de dilatação da gasolina = $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- a) 4 L c) 60 L e) 140 L
b) 40 L d) 80 L

7. Observe a tirinha a seguir.

NÃO CONSIGO
DESATARRAXAR
ESTA PORCA.

EU CONSIGO.



O quadro a seguir oferece os coeficientes de dilatação linear de alguns metais e ligas metálicas.

Substância	Coeficiente de dilatação linear ($\cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	Substância	Coeficiente de dilatação linear ($\cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
Aço	1,2	Latão	1,8
Alumínio	2,4	Ouro	1,4
Bronze	1,8	Platina	0,9
Chumbo	2,9	Prata	2,4
Níquel	1,3	Cobre	1,7

GRAF. Física 2: ondas e calor. São Paulo: Edusp, 1993.

Para permitir a ocorrência do fato observado na tirinha, a partir do menor aquecimento do conjunto, o parafuso e a porca devem ser feitos, respectivamente, de

- a) aço e níquel.
b) alumínio e platina.
c) platina e chumbo.
d) ouro e latão.
e) cobre e bronze.

8. A tabela a seguir apresenta os coeficientes de dilatação linear de alguns metais.

Metais	Coeficiente de dilatação linear ($^\circ\text{C}^{-1}$)
Ferro	$12 \cdot 10^{-6}$
Cobre	$17 \cdot 10^{-6}$
Prata	$19 \cdot 10^{-6}$
Alumínio	$22 \cdot 10^{-6}$
Zinco	$26 \cdot 10^{-6}$

Uma placa de metal de área 1 m² a 20 °C é aquecida até atingir 100 °C, apresentando uma variação de 35,2 cm² em sua área.

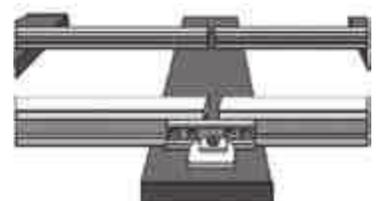
O metal que constitui essa placa é o(a)

- a) ferro.
b) cobre.
c) zinco.
d) alumínio
e) prata.

Texto para a questão 9.

A dilatação térmica no dia a dia

Devemos levar em conta a dilatação linear para trilhos de estradas de ferro, pois, se não fosse observado esse efeito, os trilhos poderiam se retorcer ou se retrair, causando distorções na linha férrea



O espaço entre os trilhos possibilita sua dilatação.

capazes de causar, por exemplo, um descarrilamento de uma composição que por ela trafegasse. Observe, na figura anterior, a junta ou o espaço que é deixado para a dilatação de um trilho de trem.

Assim, fica a pergunta: o que aconteceria em uma linha férrea se houvesse a dilatação dos trilhos linearmente, mas não comportasse o espaço suficiente para compensar tal aumento? Observe, na figura ao lado, o que aconteceria.



Nesta última fotografia, você pode observar que um grande aumento de temperatura – nesse caso provocado por um incêndio na vegetação próxima à ferrovia – distorceu os trilhos, impossibilitando a passagem dos trens.

Disponível em: <<http://www.sites.google.com>>. (adaptado)

9. Pelo texto anterior, você pôde perceber que a dilatação é um fenômeno muito comum no dia a dia e que precisa ser levado em consideração em muitas ocasiões, principalmente em certas obras de engenharia. Imagine que um estudante ouviu de um antigo engenheiro de uma estrada de ferro que os trilhos de 10 m de comprimento haviam sido fixados ao chão em um dia em que a temperatura era de 10 °C. No dia seguinte, em uma aula de Geografia, ele ouviu que, naquela cidade, a maior temperatura que o objeto de metal atingiu, exposto ao Sol, foi 50 °C. Com essas informações, o estudante resolveu calcular a distância mínima entre dois trilhos de trem. Que valor ele encontrou?

Dado: coeficiente de dilatação linear do aço = $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

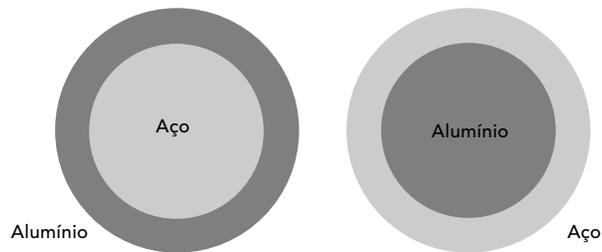
- a) 1,1 mm
- b) 2,2 mm
- c) 3,3 mm
- d) 4,4 mm
- e) 5,5 mm

10. Um petroleiro recebe uma carga de $1,0 \cdot 10^6$ barris de petróleo ($1,6 \cdot 10^5 \text{ m}^3$) do Golfo Pérsico a uma temperatura de, aproximadamente, 50 °C. Qual a perda em volume, por efeito de contração térmica, que essa carga apresenta quando descarregada no sul do Brasil, a uma temperatura de cerca de 20 °C?

Dado: coeficiente de expansão (dilatação) térmica do petróleo $\cong 1 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

- a) 3 barris.
- b) $3 \cdot 10^1$ barris.
- c) $3 \cdot 10^2$ barris.
- d) $3 \cdot 10^3$ barris.
- e) $3 \cdot 10^4$ barris.

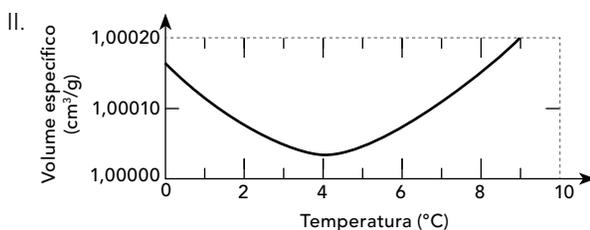
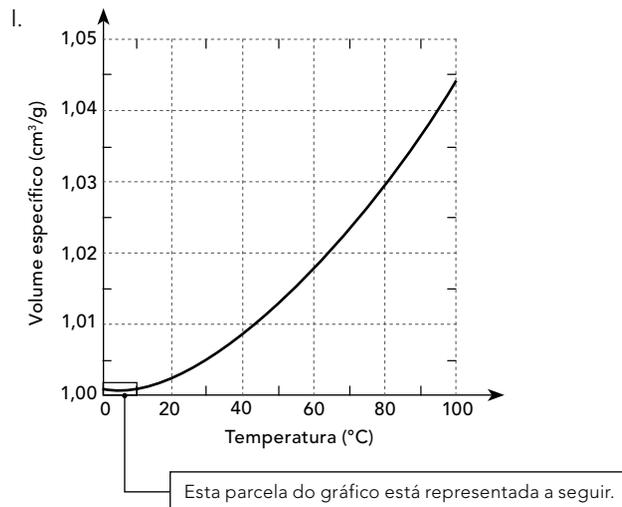
11. O coeficiente de dilatação térmica do alumínio é, aproximadamente, o dobro do coeficiente de dilatação térmica do aço. A figura a seguir mostra duas peças: um anel feito de um desses metais envolve um disco feito do outro metal. À temperatura do ambiente, os discos são presos aos anéis.



Se as duas peças forem aquecidas uniformemente, é correto afirmar que

- a) apenas o disco de aço se soltará do anel de alumínio.
- b) apenas o disco de alumínio se soltará do anel de aço.
- c) os discos se soltarão dos respectivos anéis.
- d) os discos permanecerão presos sem se soltar por maior que seja o aumento de temperatura.
- e) os metais entrarão em fusão antes de se soltarem.

12. (ENEM) De maneira geral, se a temperatura de um líquido comum aumenta, ele sofre dilatação. O mesmo não ocorre com a água se ela estiver a uma temperatura próxima à de seu ponto de congelamento. O gráfico mostra como o volume específico (inverso da densidade) da água varia em função da temperatura, com uma aproximação na região 0 °C e 10 °C, ou seja, nas proximidades do ponto de congelamento da água.



HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos da Física: gravitação, ondas e termodinâmica*. v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

A partir do gráfico, é correto concluir que o volume ocupado por certa massa de água

- a) diminui em menos de 3% ao se resfriar de 100 °C a 0 °C.
- b) aumenta em mais de 0,4% ao se resfriar de 4 °C a 0 °C.
- c) diminui em menos de 0,04% ao se aquecer de 0 °C a 4 °C.
- d) aumenta em mais de 4% ao se aquecer de 4 °C a 9 °C.
- e) aumenta em menos de 3% ao se aquecer de 0 °C a 1000 °C.

Neste livro:

Módulo 1: Processos de eletrização; Força elétrica 17
Módulo 2: Campo elétrico I.....25
Módulo 3: Campo elétrico II; Potencial elétrico I.....30

Fenômenos elétricos e magnéticos

C	5,6
H	17,20,21

Módulo

1

Processos de eletrização; Força elétrica

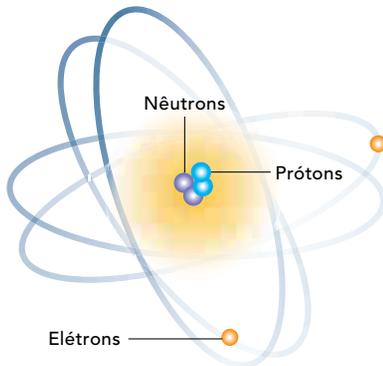
A eletricidade é a parte da Física que estuda os fenômenos elétricos. É dividida em:

- **Eletrostática** – Estuda as cargas em repouso.
- **Eletrodinâmica** – Estuda as cargas em movimento.

Carga elétrica

As substâncias são constituídas de átomos que possuem uma região central chamada **núcleo**, na qual se encontram dois tipos de partículas: os **prótons** e os **nêutrons**. Em torno do núcleo, agrupados em camadas, encontram-se os **elétrons**.

Todas essas partículas possuem massa, mas somente os prótons e os elétrons possuem cargas.



Partícula	Massa (kg)	Natureza da carga	Valor da carga (C)
Próton	$1,67 \cdot 10^{-27}$	Positiva	$1,6 \cdot 10^{-19}$
Elétron	$9,10 \cdot 10^{-31}$	Negativa	$1,6 \cdot 10^{-19}$
Nêutron	$1,67 \cdot 10^{-27}$	Nula	Zero

Quando um átomo está eletricamente neutro, o número de prótons é igual ao número de elétrons. Um corpo encontra-se carregado quando há falta ou excesso de elétrons.

+	+	+
+	+	+

Carga positiva
Falta de elétrons

-	-	-
-	-	-

Carga negativa
Excesso de elétrons

+	+	+	=	
---	---	---	---	--

Corpo descarregado – Número de prótons igual ao número de elétrons

Assim, a carga elétrica é quantizada e calculada pela expressão:

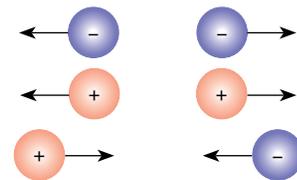
$$Q = n \cdot e$$

Em que: $\begin{cases} Q = \text{carga do corpo} \\ n = \text{número de elétrons em falta ou em excesso} \\ e = \text{carga elementar (carga do elétron)} \end{cases}$

Se $Q > 0$, então **n** é o número de elétrons em falta.
 Se $Q < 0$, então **n** é o número de elétrons em excesso.

Lei qualitativa que rege as ações elétricas

Du Fay



Cargas de mesmo sinal se repelem, enquanto cargas de sinais diferentes se atraem.

Condutores e isolantes

Em algumas substâncias, alguns elétrons apresentam uma ligação muito fraca com o núcleo, podendo eventualmente escapar da atração nuclear. Esses elétrons são denominados **elétrons livres**, podendo se movimentar com certa liberdade entre os átomos da substância. A facilidade que os elétrons livres têm de se mover nas substâncias é o que determina se elas devem ser classificadas como condutores ou isolantes.

- **Condutores** – São substâncias nas quais os elétrons livres podem se mover com facilidade no seu interior.
- **Isolantes** – São substâncias que não oferecem facilidade de movimento aos elétrons livres.

Processos de eletrização

Para eletrizar um corpo, utiliza-se um dos seguintes processos:

- atrito;
- contato;
- indução.

É bom lembrar que, em qualquer um dos processos utilizados, deverá existir a conservação da carga elétrica.

Lei da Conservação da Carga Elétrica

A carga elétrica não pode ser criada nem destruída, mas transferida de um corpo para outro.

Matematicamente, essa lei é traduzida pela equação:

$$\sum \text{Cargas antes} = \sum \text{Cargas depois}$$

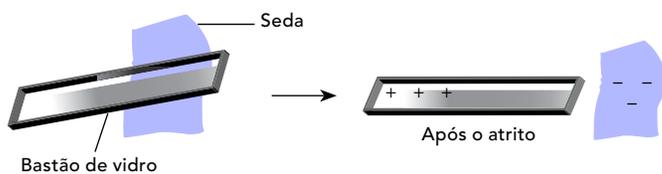
Na eletricidade, as partículas que se transferem de um corpo para outro são sempre os elétrons, visto que os prótons se encontram fortemente ligados ao núcleo pela ação da força nuclear.

Eletrização por atrito

Atritando-se dois materiais diferentes, há transferência de elétrons de um para outro.

Características da eletrização por atrito

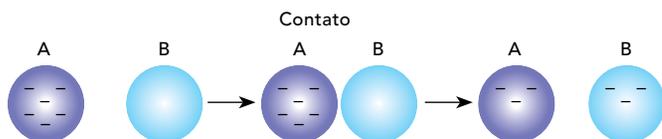
- Há transferência de elétrons de um corpo para outro.
- O corpo que cede elétrons fica com carga positiva; o que recebe elétrons fica com carga negativa.



- Os corpos ficam com cargas iguais em módulo, porém com sinais diferentes.

Eletrização por contato

Se uma esfera condutora carregada for colocada em contato com outra esfera condutora neutra, idêntica à primeira, a carga total é dividida igualmente entre as esferas.



Características da eletrização por contato

- Há passagem de elétrons de um corpo para outro.
- No contato, os corpos ficam com cargas de mesmo sinal.
- A carga total só é dividida em quantidades iguais se os corpos forem idênticos. Se os corpos forem diferentes, ficará com maior carga o de maior dimensão.

Eletrização por indução

Para eletrizar um corpo por indução, deve-se executar o seguinte procedimento:

- aproxima-se um corpo carregado (indutor) do corpo condutor neutro (induzido);



- observa-se uma separação de cargas (polarização) no induzido.



- liga-se o induzido à terra;



- as cargas negativas da extremidade direita do induzido escoam para a terra;



- desfaz-se a ligação à terra ao mesmo tempo que se afasta o indutor.



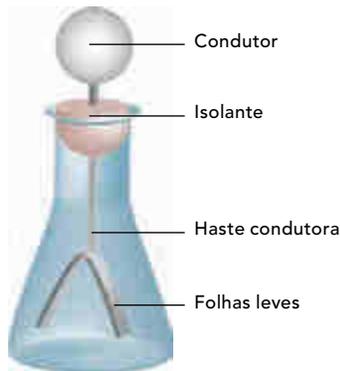
A carga resultante nesse corpo denomina-se carga induzida, enquanto a do corpo que foi aproximado do induzido é chamada de carga indutora.

Características da eletrização por indução

- Há separação de cargas no corpo neutro (polarização).
- A carga induzida é sempre menor ou igual em módulo à carga indutora.
- Na indução, os corpos sempre ficam com cargas de sinais contrários.
- Um corpo carregado pode atrair um corpo neutro, fenômeno explicado pela indução.

Eletroscópio

O eletroscópio é um instrumento destinado a identificar se um corpo está carregado eletricamente ou não.



Veja, a seguir, o que acontece quando se aproxima um corpo de um eletroscópio neutro.

- Se o corpo estiver descarregado, as folhas não mudam de posição, como na figura.



- Quando um corpo carregado é aproximado de um eletroscópio neutro, as folhas sempre se afastam.

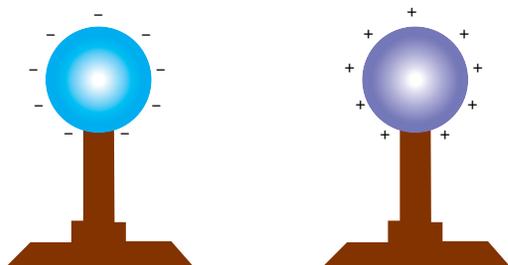


Um eletroscópio só identificará o tipo de carga do corpo se aquele estiver carregado e for conhecido o tipo de sua carga.

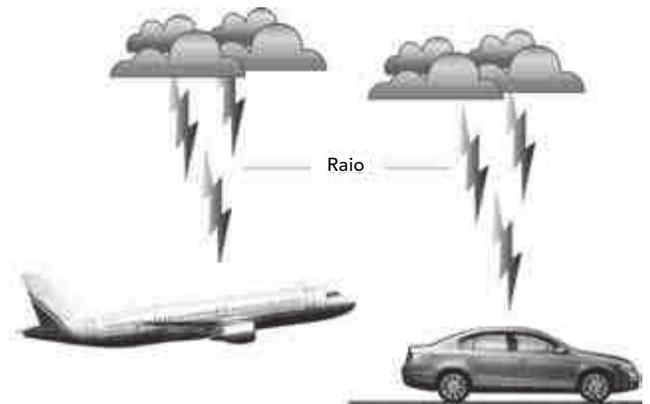
Propriedades dos condutores

Propriedade 1

Em um condutor, toda carga em excesso localiza-se na sua superfície externa.



Uma das aplicações práticas dessa propriedade é a blindagem eletrostática de estruturas e capas metálicas. Por esse motivo, quando um raio atinge um carro ou um avião, as pessoas em seu interior não são atingidas pela descarga elétrica.



Propriedade 2

Nos condutores, as cargas em excesso distribuem-se em maior proporção nas pontas.

Força elétrica

Cargas puntiformes

Cargas puntiformes são aquelas que estão localizadas em corpos de dimensões desprezíveis em relação à distância que os separa.

Embora os pesquisadores tenham descoberto que existem partículas com cargas menores que a do elétron, os *quarks*, esta continua sendo denominada de carga elétrica fundamental, representada em módulo por **e**. Assim, a carga **Q** de um corpo será sempre um múltiplo inteiro dessa carga fundamental.

$$Q = n \cdot e$$

Em que **n** = número de elétrons em excesso ou em falta no corpo.

Unidades de cargas elétricas

$$\text{MKS} \Rightarrow \text{coulomb (C)}$$

$$\text{CGS} \Rightarrow \text{statcoulomb (statC)}$$

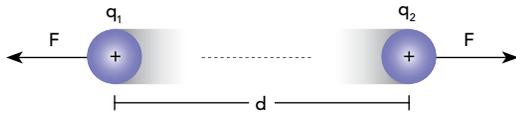
- 1 milicoulomb (1 mC) = 10^{-3} C.
- 1 microcoulomb (1 μ C) = 10^{-6} C.
- 1 nanocoulomb (1 nC) = 10^{-9} C.
- 1 picocoulomb (1 pC) = 10^{-12} C.
- 1 C = $3 \cdot 10^9$ statC.

A carga elétrica é uma grandeza **escalar**.

Lei de Coulomb

O enunciado da Lei de Coulomb pode ser apresentado da seguinte maneira:

As cargas elétricas atraem-se ou repelem-se com forças diretamente proporcionais ao produto das cargas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância que as separam.



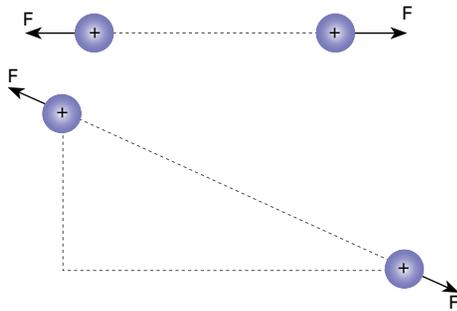
$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Em que:

- F = intensidade da força elétrica;
- q_1 e q_2 = cargas elétricas em módulo;
- K = constante eletrostática = $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$;
- d = distância entre as cargas.

Observações sobre a Lei de Coulomb

- A Lei de Coulomb só é aplicada para cargas puntiformes.
- A força elétrica entre duas cargas puntiformes tem a mesma direção da reta que as une.



- A constante eletrostática K depende do meio onde se encontram as cargas elétricas. No SI, $K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$, sendo ϵ a permissividade absoluta do meio em que se encontram as cargas.

Para o vácuo $\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, então:

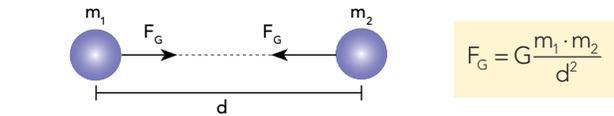
$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \therefore K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

A constante dielétrica ou permissividade relativa (ϵ_r) de um meio é a razão entre a permissividade absoluta desse meio (ϵ) e a permissividade absoluta do vácuo (ϵ_0).

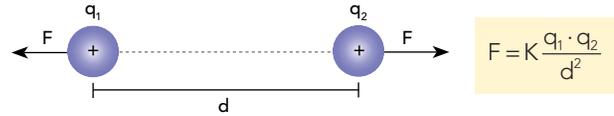
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Meio	Constante dielétrica
Vácuo	1
Água	80
Papel	1,8 a 2,5
Vidro	4,0 a 10

- Enquanto a força gravitacional entre duas massas só pode ser de atração, a força elétrica entre duas cargas poderá ser de atração ou de repulsão, dependendo dos sinais das cargas.



$$F_G = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$



$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$



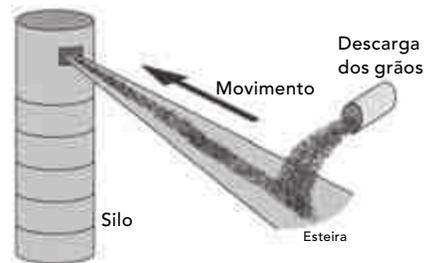
Atividades para sala

1. Duas pequenas esferas, E_1 e E_2 , feitas de materiais isolantes diferentes, inicialmente neutras, são atritadas uma na outra durante 5 s e ficam eletrizadas. Em seguida, as esferas são afastadas e mantidas a uma distância de 30 cm, muito maior que seus raios. A esfera E_1 ficou com carga elétrica positiva de 0,8 nC.

A diferença N entre o número de prótons e o de elétrons da esfera E_2 após o atrito é

Dados: $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$; carga do elétron = $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; não há troca de cargas entre cada esfera e o ambiente.

- a) $5 \cdot 10^9$.
 - b) $2,5 \cdot 10^9$.
 - c) $5 \cdot 10^{10}$.
 - d) $2,5 \cdot 10^{10}$.
 - e) $5 \cdot 10^8$.
2. Uma esfera metálica A, eletrizada com carga elétrica igual a $-20,0 \mu\text{C}$, é colocada em contato com outra esfera idêntica B, eletricamente neutra. Em seguida, encosta-se a esfera B em outra C, também idêntica, eletrizada com carga elétrica igual a $50,0 \mu\text{C}$. Após esse procedimento, as esferas B e C são separadas.
- A carga elétrica armazenada na esfera B, no final desse processo, é igual a
- a) $20,0 \mu\text{C}$.
 - b) $30,0 \mu\text{C}$.
 - c) $40,0 \mu\text{C}$.
 - d) $50,0 \mu\text{C}$.
 - e) $60,0 \mu\text{C}$.
3. O transporte de grãos para o interior dos silos de armazenagem ocorre com o auxílio de esteiras de borracha, conforme mostra a figura, e requer alguns cuidados, pois os grãos, ao caírem sobre a esteira com velocidade diferente da dela, até assimilarem a nova velocidade, sofrem escorregamentos, eletrizando a esteira e os próprios grãos. Essa eletrização pode provocar faíscas que, no ambiente repleto de fragmentos de grãos suspensos no ar, podem acarretar incêndios.



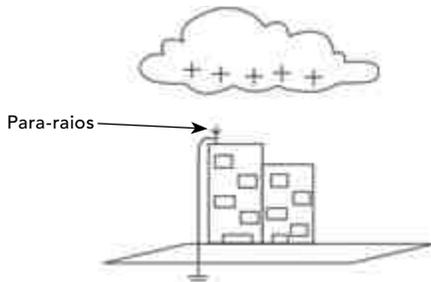
Nesse processo de eletrização, os grãos e a esteira ficam carregados com cargas elétricas de sinais

- a) iguais, eletrizados por atrito.
- b) iguais, eletrizados por contato.
- c) opostos, eletrizados por atrito.
- d) opostos, eletrizados por contato.
- e) opostos, eletrizados por indução.

4. Raios são descargas elétricas de grande intensidade que conectam as nuvens de tempestade na atmosfera e o solo. A intensidade típica de um raio é de 30 mil amperes, cerca de mil vezes a intensidade de um chuva elétrico, e eles percorrem distâncias da ordem de 5 km.

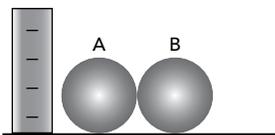
Disponível em: <www.inpe.br>. Acesso em: 30 out. 2012.

Durante uma tempestade, uma nuvem carregada positivamente se aproxima de um edifício que possui um para-raios, conforme a figura a seguir.



De acordo com o enunciado, pode-se afirmar que, ao se estabelecer uma descarga elétrica no para-raios,

- prótons passam da nuvem para o para-raios.
 - prótons passam do para-raios para a nuvem.
 - elétrons passam da nuvem para o para-raios.
 - elétrons passam do para-raios para a nuvem.
 - elétrons e prótons se transferem de um corpo a outro.
5. Duas esferas condutoras, A e B, idênticas, eletricamente neutras, estão em contato uma com a outra e isoladas eletricamente de qualquer outra influência, a não ser quando se aproxima de uma delas uma barra eletricamente negativa. Enquanto a barra é mantida nessa posição, as esferas ficam separadas uma da outra.



Se, na sequência, a barra for afastada das duas esferas, a carga elétrica dessas esferas resultará

- positiva, tanto para A quanto para B.
 - positiva para A e negativa para B.
 - negativa para A e positiva para B.
 - nula para as duas esferas, que permanecem neutras.
 - negativa para as duas esferas.
6. Utilizados nos laboratórios didáticos de Física, os eletroscópios são aparelhos geralmente usados para detectar se um corpo possui carga elétrica ou não. Considerando o eletroscópio da figura ao lado carregado positivamente, assinale a alternativa correta. Tocando-se o dedo na esfera, verifica-se que as lâminas se fecham, porque o eletroscópio
- perde elétrons.
 - ganha elétrons.
 - ganha prótons.
 - perde prótons.
 - ganha nêutrons.
7. Deseja-se eletrizar um objeto metálico, inicialmente neutro, pelos processos de eletrização conhecidos, e obter uma quantidade de carga negativa de $3,2 \mu\text{C}$. Sabendo-se que a carga elementar vale $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, para se conseguir a eletrização desejada, será preciso



- retirar do objeto 20 trilhões de prótons.
- retirar do objeto 20 trilhões de elétrons.
- acrescentar ao objeto 20 trilhões de elétrons.
- acrescentar ao objeto cerca de 51 trilhões de elétrons.
- retirar do objeto cerca de 51 trilhões de prótons.

8. Duas pequenas esferas, E_1 e E_2 , feitas de materiais isolantes diferentes, inicialmente neutras, são atritadas uma na outra durante 5 s e ficam eletrizadas. Em seguida, as esferas são afastadas e mantidas a uma distância de 30 cm, muito maior que seus raios. A esfera E_1 ficou com carga elétrica positiva de 0,8 nC.

O módulo da força elétrica F que atua entre as esferas depois de afastadas é

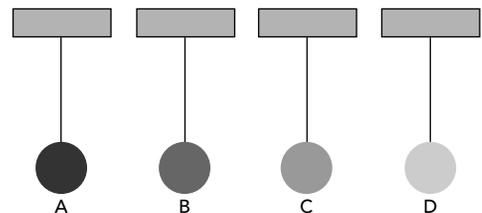
Dados: $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$; carga do elétron = $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; constante eletrostática: $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$; não há troca de cargas entre cada esfera e o ambiente.

- $6,4 \cdot 10^{-8} \text{ N}$.
 - $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$.
 - $1,6 \cdot 10^{-8} \text{ N}$.
 - $8,0 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.
 - $4,0 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.
9. Duas pequenas esferas eletrizadas, com cargas Q_1 e Q_2 , separadas pela distância d , se repelem com uma força de intensidade $4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$. Substituindo-se a carga Q_1 por outra carga igual a $3Q_1$, e aumentando-se a distância entre elas para $2d$, o valor da força de repulsão será
- $3 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
 - $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
 - $1 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
 - $5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.
 - $8 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.



Atividades propostas

1. Considere 4 esferas metálicas idênticas ligadas por fios isolantes a um suporte fixo, como ilustrado a seguir. Suponha que a esfera A tenha sido tocada por um corpo carregado negativamente.



Agora, observa-se que

- quando a esfera A fica próxima de cada esfera (uma de cada vez), B, C e D são, cada uma, atraídas por A;
- B e C não têm efeito uma sobre a outra;
- B e C são ambas atraídas por D.

Com base na análise de I, II e III, pode-se afirmar que a carga sobre as esferas A, B, C e D é, respectivamente,

- negativa, positiva, neutra e positiva.
 - positiva, neutra, positiva e negativa.
 - negativa, negativa, negativa e positiva.
 - neutra, neutra, negativa e neutra.
 - negativa, neutra, neutra e positiva.
2. Aproximando-se um pente de um pedacinho de papel, observa-se que não há força entre eles. No entanto, ao se passar o pente no cabelo e, em seguida, aproximá-lo do pedacinho de papel, este será atraído pelo pente.

Considere F_{pente} e F_{papel} os módulos das forças eletrostáticas que atuam, respectivamente, sobre o pente e sobre o papel.

Com base nessas informações, é correto afirmar que

- o pente e o papel têm cargas de sinais opostos e o módulo da força eletrostática do papel é igual ao do pente.
 - o pente e o papel têm cargas de sinais opostos e o módulo da força eletrostática do pente é maior que o do papel.
 - o pente está eletricamente carregado, o papel está eletricamente neutro e o módulo da força eletrostática do papel é igual ao do pente.
 - o pente está eletricamente carregado, o papel está eletricamente neutro e o módulo da força eletrostática do pente é maior que o do papel.
 - o pente e o papel estão neutros e o módulo da força eletrostática do pente é igual ao do papel.
3. Dois corpos de materiais diferentes, quando atritados entre si, são eletrizados. Em relação a esses corpos, se essa eletrização é feita de forma isolada do meio, é correto afirmar que
- um fica eletrizado positivamente, e o outro, negativamente.
 - um fica eletrizado negativamente, e o outro permanece neutro.
 - um fica eletrizado positivamente, e o outro permanece neutro.
 - ambos ficam eletrizados negativamente.
 - ambos ficam eletrizados positivamente.
4. Três pequenas esferas condutoras, M, N e P, idênticas, estão eletrizadas com cargas $+60\text{ C}$, $+10\text{ C}$ e -40 C , respectivamente. Uma quarta esfera Z, igual às anteriores, encontra-se neutra. A carga elétrica adquirida pela esfera Z, após contatos sucessivos e não simultâneos com M, N e P, nessa ordem, é
- 10 C .
 - -10 C .
 - 20 C .
 - -20 C .
 - 30 C .
5. O número de elétrons de um átomo é igual ao número dos seus prótons. O número de prótons é chamado de número atômico. Examine a tabela periódica a seguir e identifique o elemento químico cobalto (Co), muito utilizado na Medicina, principalmente em radioterapia.

Metals alcalinos
Metals alcalinoterrosos
Metals de transição
Lantanídeos
Actinídeos
Outros metais
Não metais
Gases nobres
Sólidos
Líquidos
Gases
Sintético

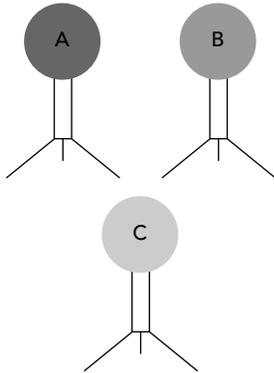
Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela União Internacional de Química Pura e Aplicada. Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum

Cada elétron tem carga elétrica $e = -1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$. A carga elétrica total (Q) dos elétrons de um átomo de cobalto é, em valor absoluto e em C, igual a

- $1,68 \cdot 10^{-18}$.
- $4,32 \cdot 10^{-19}$.
- $4,32 \cdot 10^{-20}$.
- $4,32 \cdot 10^{-18}$.
- $1,68 \cdot 10^{-19}$.

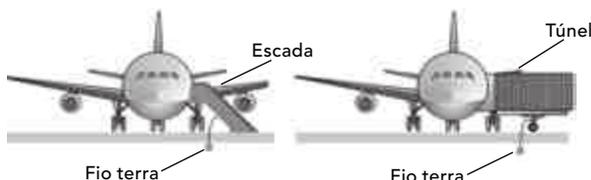
6. Três esferas condutoras idênticas, A, B e C, estão sobre tripés isolantes. A esfera A tem inicialmente carga elétrica de $6,4 \mu\text{C}$, enquanto B e C estão neutras.



Encostam-se as esferas A e B até o equilíbrio eletrostático, e, logo após, separam-nas. Após isso, o procedimento é repetido, desta vez com as esferas B e C.

Sendo a carga elementar $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, o número total de elétrons que, nessas duas operações, passam de uma esfera a outra é

- $1,0 \cdot 10^{13}$.
 - $2,0 \cdot 10^{13}$.
 - $3,0 \cdot 10^{13}$.
 - $4,0 \cdot 10^{13}$.
 - $8,0 \cdot 10^{13}$.
7. Um bastão de vidro positivamente carregado, eletrizado por atrito, atrai um pequeno pedaço de papel-alumínio posto em suas imediações. É possível, a partir dessa informação, concluir que
- o papel-alumínio está necessariamente carregado com cargas negativas, porque cargas opostas se atraem.
 - o papel-alumínio está carregado positivamente, porque cargas positivas tendem a ficar sempre muito próximas.
 - o papel-alumínio, logo após ser atraído, será repellido devido à troca de cargas entre o vidro e o papel.
 - o papel-alumínio está eletricamente neutro e é polarizado pelo bastão, o que provoca a força atrativa.
 - o papel-alumínio é um condutor elétrico e, por isso, sempre será atraído por corpos carregados eletricamente.
8. A eletricidade estática, obtida principalmente por atrito, pode manifestar-se em vários fenômenos do nosso cotidiano, às vezes de forma inofensiva, mas eventualmente de forma perigosa. O atrito da superfície externa de um avião com o ar produz a eletrização dessa superfície. Para o escoamento das cargas elétricas acumuladas durante o voo, existem nas asas pequenos fios metálicos. Durante o abastecimento de aviões, eles são conectados à terra, evitando, assim, pequenas descargas elétricas que poderiam explodir o combustível que é introduzido nos tanques.

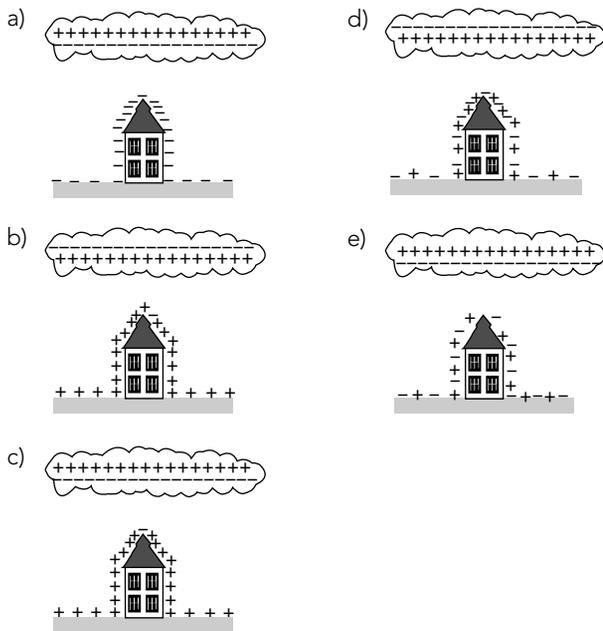


A finalidade dessa conexão é

- fazer com que o avião sofra eletrização e adquira cargas elétricas.
 - evitar que escape carga elétrica durante um período de tempestade e trovoadas.
 - aumentar o atrito com o ar, fazendo barulho, de modo a avisar o piloto em caso de vazamento.
 - evitar que um raio atinja o avião.
 - fazer com que escapem, para a terra, as cargas elétricas acumuladas no avião devido ao atrito com o ar.
9. (ENEM) Duas irmãs que dividem o mesmo quarto de estudos combinaram de comprar duas caixas com tampas para guardarem seus pertences dentro, evitando, assim, a bagunça sobre a mesa de estudos. Uma delas comprou uma metálica, e a outra, uma caixa de madeira de área e espessura lateral diferentes, para facilitar a identificação. Um dia, as meninas foram estudar para a prova de Física e, ao se acomodarem na mesa de estudos, guardaram seus celulares ligados dentro de suas caixas. Ao longo desse dia, uma delas recebeu ligações telefônicas, enquanto os amigos da outra tentavam ligar e recebiam a mensagem de que o celular estava fora da área de cobertura ou desligado. Para explicar essa situação, um físico deveria afirmar que o material da caixa cujo telefone celular não recebeu as ligações é de
- madeira, e o telefone não funcionava porque a madeira não é um bom condutor de eletricidade.
 - metal, e o telefone não funcionava devido à blindagem eletrostática que o metal proporcionava.
 - metal, e o telefone não funcionava porque o metal refletia todo tipo de radiação que nele incidia.
 - metal, e o telefone não funcionava porque a área lateral da caixa de metal era maior.
 - madeira, e o telefone não funcionava porque a espessura desta caixa era maior que a espessura da caixa de metal.
10. Dispõe-se de duas esferas metálicas, iguais e inicialmente descarregadas, montadas sobre pés isolantes, e de um bastão de ebonite, carregado negativamente. Os itens de I a IV podem ser colocados em uma ordem que descreva uma experiência em que as esferas sejam carregadas por indução.
- Aproximar o bastão de uma das esferas.
 - Colocar as esferas em contato.
 - Separar as esferas.
 - Afastar o bastão.
- Qual é a alternativa que ordena de maneira adequada as operações?
- II, I, III, IV
 - II, I, IV, III
 - I, III, IV, II
 - IV, II, III, I
 - I, II, III, IV

11. Uma nuvem eletricamente carregada induz cargas na região imediatamente abaixo dela, e essa região, por sua vez, também se eletriza.

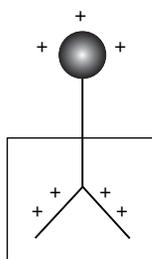
A figura que melhor representa a distribuição de cargas no interior da nuvem e na região imediatamente abaixo desta é:



12. A figura ao lado representa um eletroscópio de folhas. O eletroscópio pode indicar a presença de cargas elétricas e o sinal delas.

Considere o eletroscópio originalmente carregado positivamente. Aproximando-se dele um bastão carregado, observa-se que as folhas se fecham. É correto afirmar que

- a) o bastão tem carga negativa.
- b) o bastão tem carga positiva.
- c) o bastão tem cargas positiva e negativa não balanceadas.
- d) não é possível identificar a carga do bastão.
- e) o bastão tem cargas positivas e negativas balanceadas.



13. Para a aula de eletricidade estática, o aluno apresenta ao professor dois balões de ar, negativamente carregados, suspensos por fios isolantes presos às suas mãos.

Quando o aluno aproxima os dois balões, não permitindo que se toquem, a intensidade da força eletrostática entre os balões

- a) diminui, e os balões se atraem.
- b) diminui, e os balões se repelem.
- c) aumenta, e os balões se atraem.
- d) aumenta, e os balões se repelem.
- e) não se altera, independentemente da distância entre eles.



14. Um corpo possui $5 \cdot 10^{19}$ prótons e $4 \cdot 10^{19}$ elétrons. Considerando a carga elementar igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, esse corpo está

- a) carregado negativamente com uma carga igual a $1 \cdot 10^{-19}$ C.
- b) carregado positivamente com uma carga igual a $1,6$ C.
- c) carregado negativamente com uma carga igual a $1,6$ C.
- d) carregado positivamente com uma carga igual a $1 \cdot 10^{-19}$ C.
- e) carregado negativamente com uma carga igual a 16 C.

15. Duas esferas metálicas idênticas, A e B, têm inicialmente cargas iguais a $3,2 \mu\text{C}$ e zero, respectivamente. Quantos elétrons ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C) a esfera A recebe, após o contato entre elas?

Dado: $K = 9 \cdot 10^9$ (no SI).

- a) 10^9
- b) 10^{-19}
- c) 10^{19}
- d) 10^{13}
- e) 10^{-13}

16. Sabe-se atualmente que os prótons e nêutrons não são partículas elementares, mas sim partículas formadas por três quarks. Uma das propriedades importantes do quark é o sabor, que pode assumir seis tipos diferentes: top, bottom, charm, strange, up e down. Apenas os quarks up e down estão presentes nos prótons e nos nêutrons. Os quarks possuem carga elétrica fracionária. Por exemplo, o quark up tem carga elétrica igual a $q_{up} = +\frac{2}{3}e$ e o quark down, $q_{down} = -\frac{1}{3}e$, onde e é o módulo da carga elementar do elétron.

O módulo da força de atração eletrostática entre um quark up e um quark down separados por uma distância $d = 0,2 \cdot 10^{-15}$ m, em newton, é

Dados: $K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

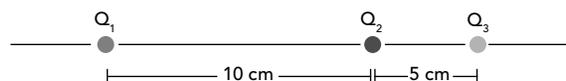
- a) 2560.
- b) 1280.
- c) 960.
- d) 640.
- e) 320.

17. Considere duas esferas idênticas que possuem cargas $+Q$ e $-2Q$ separadas por uma distância $d = 2$ m. Se as esferas forem postas em contato, irão adquirir novas cargas. A seguir, as esferas são separadas pela mesma distância $d = 2$ m. Sabendo que $Q = 4,0 \mu\text{C}$ e que a constante eletrostática é igual a $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, pode-se afirmar que a razão entre as intensidades das forças elétricas entre as esferas,

antes e depois do contato, isto é, $\frac{|F|_{\text{antes do contato}}}{|F|_{\text{depois do contato}}}$, vale

- a) $\frac{1}{8}$.
- b) 2.
- c) 4.
- d) $\frac{1}{4}$.
- e) 8.

18. Três cargas elétricas puntiformes idênticas, Q_1 , Q_2 , Q_3 , são mantidas fixas em suas posições sobre uma linha reta, conforme indica a figura a seguir.



Sabendo-se que o módulo da força elétrica exercida por Q_1 sobre Q_2 é de $4,0 \cdot 10^{-5}$ N, qual é o módulo da força elétrica resultante sobre Q_2 ?

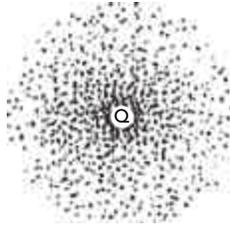
- a) $4,0 \cdot 10^{-5}$ N
- b) $8,0 \cdot 10^{-5}$ N
- c) $1,2 \cdot 10^{-4}$ N
- d) $1,6 \cdot 10^{-4}$ N
- e) $2,0 \cdot 10^{-4}$ N

Conceito de campo elétrico

A presença de uma massa modifica a região do espaço que a envolve. Essa região denomina-se **campo gravitacional**.

Uma carga elétrica altera as propriedades de uma região do espaço em torno dela. Essa região, que fica alterada em virtude da presença de uma carga elétrica, é denominada **campo elétrico**.

Por meio dessa região é que a força elétrica atuará sobre outras cargas.



Observando os quadros 1 e 3, verifica-se que o vetor campo elétrico permanece no mesmo sentido (afastando-se da carga), embora a carga de prova q_0 tenha mudado de sinal.

Nos quadros 2 e 4, o vetor campo elétrico permanece no mesmo sentido (aproximando-se da carga), mesmo com a carga de prova tendo mudado de sinal.

Conclui-se, portanto, que o sentido do campo elétrico independe da carga de prova q_0 , dependendo somente da carga Q , que gera o campo elétrico.

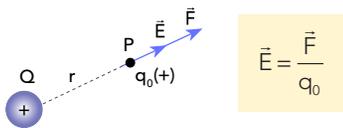
Unidades:

MKS \Rightarrow N/C

CGS \Rightarrow dina/statC

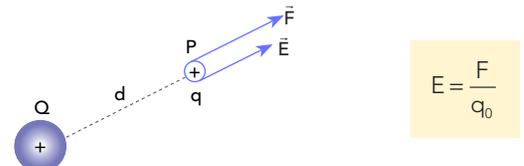
Definição da intensidade do campo elétrico

A grandeza vetorial **intensidade do campo elétrico** (\vec{E}) é definida como a razão entre a força elétrica (\vec{F}) e a carga de prova (q_0).



Campo elétrico de cargas puntiformes

O campo elétrico de uma carga puntiforme (Q), a determinada distância (d), tem intensidade dada pela equação:



Substituindo F pela equação da Lei de Coulomb ($F = \frac{KQq_0}{d^2}$), tem-se:

$$E = \frac{KQq_0}{d^2} \cdot \frac{1}{q_0} \therefore E = \frac{KQ}{d^2}$$

Características do vetor intensidade do campo elétrico

Módulo: $E = \frac{F}{q_0}$

➤ **Direção** – O vetor intensidade do campo elétrico tem mesma direção que o vetor força elétrica que atua sobre a carga de prova.

➤ **Sentido** – Se q_0 for positiva, \vec{E} terá o mesmo sentido de \vec{F} . Se q_0 for negativa, \vec{E} terá sentido contrário ao de \vec{F} .

Nos quadros seguintes, as cargas Q são as que geram o campo elétrico e q_0 , as cargas de prova. Em cada quadro, os vetores campo e força elétrica estão indicados no ponto P .

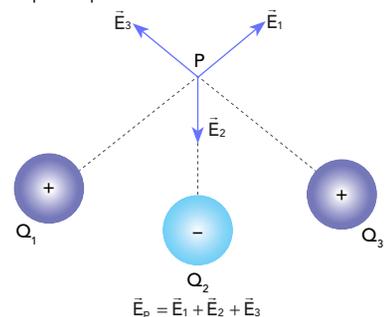
<p>1</p>	<p>2</p>
<p>3</p>	<p>4</p>

A intensidade do campo elétrico é diretamente proporcional à carga puntiforme (Q) e inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto P até a carga. Observando essa última equação, e notando a ausência de q_0 nela, compreende-se que o campo elétrico independe da carga de prova (q_0).

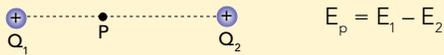
O campo elétrico depende do meio onde a carga puntiforme se encontra.

Cálculo da intensidade do campo elétrico devido a várias cargas puntiformes

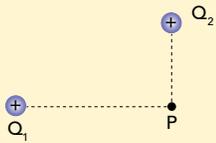
A intensidade do campo elétrico em um ponto P , sendo uma grandeza vetorial, será calculada somando-se vetorialmente as intensidades dos campos elétricos de cada carga puntiforme naquele ponto.



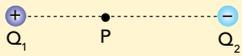
Determinando o módulo da intensidade do campo elétrico no ponto P, em cada uma das situações seguintes:



$$E_p = E_1 - E_2$$



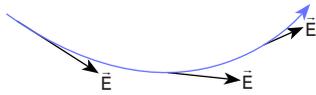
$$E_p = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$



$$E_p = E_1 + E_2$$

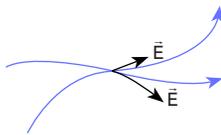
Linhas de força

Linhas de força são aquelas que unem os vetores campo elétrico em cada ponto, tangentes a esses vetores, e que passam pelas suas origens.

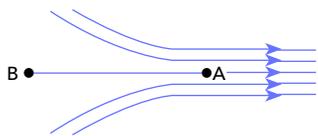


Propriedades das linhas de força

➤ **Propriedade 1** – As linhas de força nunca se cruzam, pois um ponto do campo é caracterizado por um único vetor. Se essas linhas se cortarem, haverá mais de um vetor campo nesse ponto.



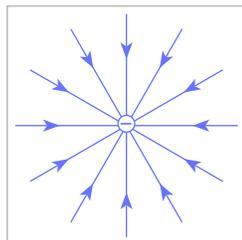
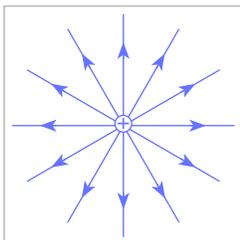
➤ **Propriedade 2** – Na região onde o campo elétrico é mais intenso, as linhas de força estão mais próximas umas das outras, e onde é menos intenso, ocorre o contrário. Assim, no exemplo a seguir, o campo elétrico em A é mais intenso do que em B.



Exemplos de linhas de força

Exemplo 1:

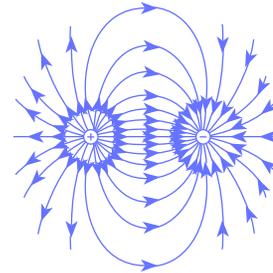
As linhas de força de uma carga puntiforme isolada são sempre radiais.



Essas linhas **divergem das cargas positivas** e **convergem para as cargas negativas**.

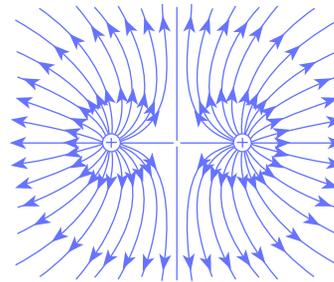
Exemplo 2:

Para duas cargas de sinais contrários, a configuração das linhas de força é a apresentada na figura a seguir.



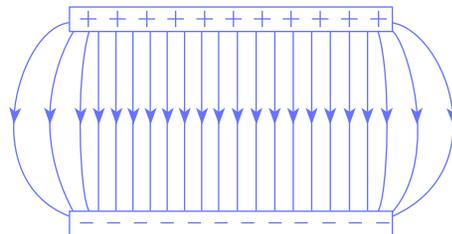
Exemplo 3:

A configuração das linhas de força para duas cargas puntiformes de mesmo sinal tem o seguinte aspecto:



Exemplo 4:

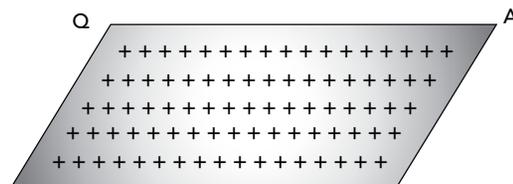
As linhas de força de um campo elétrico uniforme são retas paralelas igualmente distanciadas, e todas de mesmo sentido.



O campo elétrico uniforme é obtido no interior de duas placas paralelas de sinais contrários. Observe que, conforme se aproxima das bordas das placas, o campo elétrico deixa de ser uniforme, pois as linhas de força deixam de ser paralelas.

Densidade superficial de cargas (σ)

Considere um condutor cuja área da superfície é A, em equilíbrio eletrostático, eletrizado com carga Q.



A razão entre a carga (Q) e a área (A) da superfície externa é, por definição, a densidade superficial de carga.

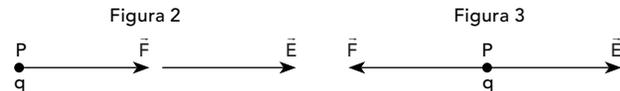
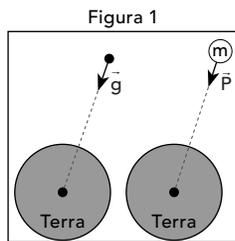
$$\sigma = \frac{Q}{A}$$



Atividades para sala

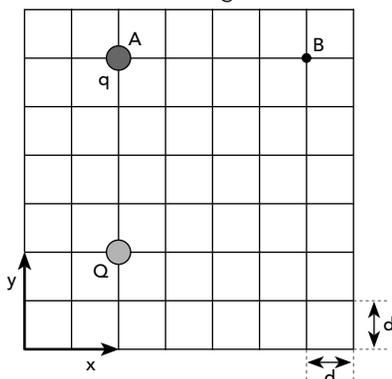
1. Como é que um corpo interage com outro, mesmo à distância?

Com o desenvolvimento da ideia do Campo Gravitacional criado por uma massa, passou a se explicar a força de atração gravitacional com mais clareza e melhor entendimento: uma porção de matéria cria em torno de si um campo gravitacional, onde a cada ponto é associado um vetor aceleração da gravidade. Quando um outro corpo é colocado neste ponto, passa a sofrer a ação de uma força de origem gravitacional. Ideia semelhante se aplica para o campo elétrico gerado por uma carga Q , com uma carga de prova q colocada num ponto P , próximo a Q , que sofre a ação de uma força elétrica \vec{F} .



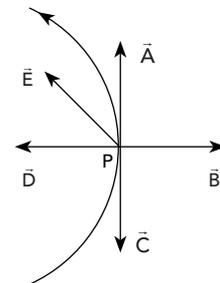
Com relação às três figuras, na ordem em que elas aparecem e, ainda com relação ao texto enunciado, assinale a afirmativa correta.

- Para que o corpo de massa m seja atraído pela Terra, é necessário que ele esteja eletrizado.
 - Para que a carga elétrica q da segunda figura seja submetida à força indicada, é necessário que ela esteja carregada positivamente.
 - Se o corpo de massa m , da primeira figura, estiver negativamente carregado, ele sofrerá uma força de repulsão.
 - Não importa a carga do corpo de massa m , da primeira figura, matéria sempre atrai matéria na razão inversa do produto de suas massas.
 - A carga elétrica de q , na terceira figura, com toda certeza é positiva.
2. Uma carga elétrica puntiforme $Q > 0$ está fixa em uma região do espaço e cria um campo elétrico ao seu redor. Outra carga elétrica puntiforme q , também positiva, é colocada em determinada posição desse campo elétrico, podendo mover-se dentro dele. A malha quadriculada, representada na figura seguinte, está contida em um plano xy , que também contém as cargas.



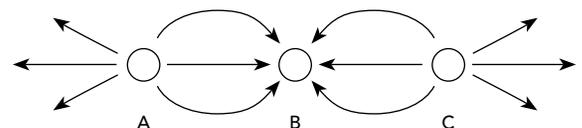
Na posição A, a intensidade do campo elétrico, gerado pela carga Q , tem intensidade E . Na posição B, a intensidade do campo elétrico é

- $4E$.
 - $2E$.
 - E .
 - $\frac{E}{2}$.
 - $\frac{E}{4}$.
3. O ato de eletrizar um corpo consiste em gerar uma desigualdade entre o número de cargas positivas e negativas, ou seja, em gerar uma carga resultante diferente de zero. Em relação aos processos de eletrização e às características elétricas de um objeto eletrizado, é correto afirmar que
- em qualquer corpo eletrizado, as cargas se distribuem uniformemente por toda a sua superfície.
 - no processo de eletrização por atrito, as cargas positivas são transferidas de um corpo para outro.
 - em dias úmidos, o fenômeno da eletrização é potencializado, ou seja, os objetos ficam facilmente eletrizados.
 - dois objetos eletrizados por contato são afastados um do outro por uma distância D . Nesta situação, podemos afirmar que existe um ponto entre eles onde o vetor campo elétrico resultante é zero.
 - o meio em que os corpos eletrizados estão imersos não tem influência direta no valor do campo elétrico criado por eles.
4. A linha de força é considerada uma linha imaginária, representação geométrica convencionada para indicar a presença de um campo elétrico. Na figura, estão representados uma linha de força de um campo elétrico, um ponto P e os vetores A, B, C, D e E.



Se uma partícula de carga elétrica positiva, suficientemente pequena para não alterar a configuração desse campo elétrico, for colocada nesse ponto P , ela sofre a ação de uma força F , melhor representada pelo vetor

- A.
 - B.
 - C.
 - D.
 - E.
5. A figura a seguir representa a configuração de linhas de campo elétrico produzida por três cargas puntiformes, todas com o mesmo módulo Q .

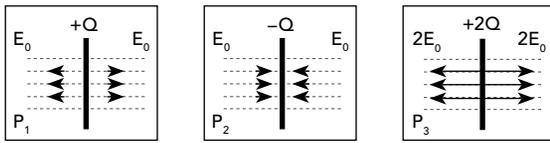


Os sinais das cargas A, B e C são, respectivamente,

- negativo, positivo e negativo.
- negativo, negativo e positivo.
- positivo, positivo e positivo.
- negativo, negativo e negativo.
- positivo, negativo e positivo.

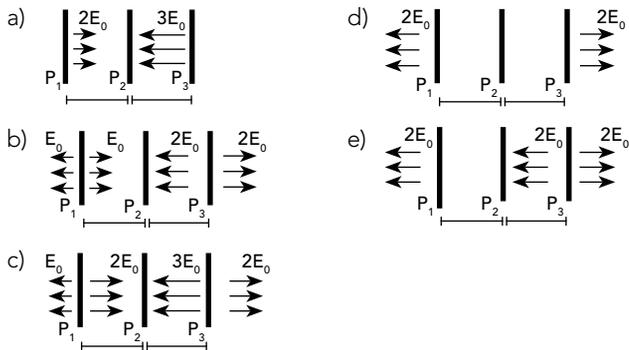
6. Três grandes placas P_1 , P_2 e P_3 , com, respectivamente, cargas $+Q$, $-Q$ e $+2Q$, geram campos elétricos uniformes em certas regiões do espaço. A figura 1 a seguir mostra intensidade, direção e sentido dos campos criados pelas respectivas placas P_1 , P_2 e P_3 , quando vistas de perfil.

Figura 1



Colocando-se as placas próximas, separadas pela distância D indicada, o campo elétrico resultante, gerado pelas três placas em conjunto, é representado por

Dado: onde não há indicação, o campo elétrico é nulo.



- Com base na análise das informações, é correto afirmar que
- as gotas podem estar neutras que o processo acontecerá da mesma forma.
 - o fenômeno da indução descrito no texto se caracteriza pela polarização das folhas das plantas, induzindo sinal igual ao da carga da gota.
 - quanto mais próximas estiverem gotas e folha, menor será a força de atração.
 - outro fenômeno importante surge com a repulsão mútua entre as gotas após saírem do bico: por estarem com carga de mesmo sinal, elas se repelem, o que contribui para uma melhoria na distribuição do defensivo nas folhas.
 - existe um campo elétrico no sentido da folha para as gotas.

2. Considere uma carga positiva Q de $4,0 \mu\text{C}$, no ar, e um ponto M a 20 cm de distância dessa carga. Dentre as alternativas seguintes, a que contém as informações corretas sobre a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico em M , devido a Q , é

Dado: constante eletrostática $K = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

	Intensidade de (N/C)	Direção	Sentido
a)	$9,0 \cdot 10^1$	Linha reta que une Q e M	De Q para M
b)	$9,0 \cdot 10^5$	Linha reta que une Q e M	De Q para M
c)	$9,0 \cdot 10^5$	Tangente à linha circular de centro em Q e de raio QM	Horário
d)	$1,8 \cdot 10^5$	Linha reta que une Q e M	De M para Q
e)	$1,8 \cdot 10^5$	Tangente à linha circular de centro em Q e de raio QM	Anti-horário

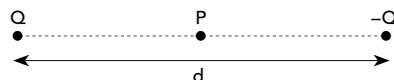
3. O vetor campo elétrico gerado por uma carga puntiforme $Q = -2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, em um ponto P , tem direção horizontal, sentido da esquerda para a direita e intensidade $E = 2,0 \cdot 10^5 \text{ V/m}$. O meio é o vácuo, e a constante eletrostática vale $K_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

A posição da carga Q é

- $9,0 \text{ cm}$ à direita de P .
 - $9,0 \text{ cm}$ à esquerda de P .
 - 30 cm à direita de P .
 - 30 cm à esquerda de P .
 - $3,0 \text{ m}$ à direita de P .
4. O campo elétrico criado por uma carga puntiforme Q a uma distância r tem intensidade E . Triplica-se o valor da carga Q e dobra-se a distância r ; o novo campo elétrico passa a ser E' . O valor de E' em função de E será

- $\frac{3E}{2}$.
- $\frac{E}{4}$.
- $\frac{3E}{4}$.
- $\frac{E}{2}$.
- E .

5. Duas cargas puntiformes Q e $-Q$ estão fixas, separadas a uma distância d .

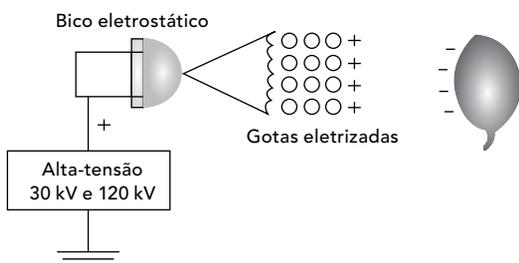


Sendo K a constante eletrostática do meio, o módulo do vetor campo elétrico resultante no ponto P , médio entre Q e $-Q$, vale

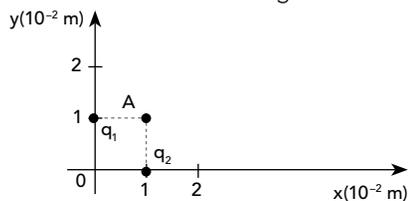
- zero.
- $K \frac{Q}{d^2}$.
- $2K \frac{Q}{d^2}$.
- $4K \frac{Q}{d^2}$.
- $8K \frac{Q}{d^2}$.

Atividades propostas

1. Atualmente, é grande o interesse na redução dos impactos ambientais provocados pela agricultura por meio de pesquisas, métodos e equipamentos. Entretanto, a aplicação de agrotóxicos praticada continua extremamente desperdiçadora de energia e de produto químico. O crescente aumento dos custos dos insumos, mão de obra, energia e a preocupação cada vez maior em relação à contaminação ambiental têm realçado a necessidade de uma tecnologia mais adequada na colocação dos agrotóxicos nos alvos, bem como de procedimentos e equipamentos que levem à maior proteção do trabalhador. Nesse contexto, o uso de gotas com cargas elétricas, eletrizadas com o uso de bicos eletrostáticos, tem se mostrado promissor, uma vez que, quando uma nuvem dessas partículas se aproxima de uma planta, ocorre o fenômeno de indução, e a superfície do vegetal adquire cargas elétricas de sinal oposto ao das gotas. Como consequência, a planta atrai fortemente as gotas, promovendo uma melhoria na deposição, inclusive na parte inferior das folhas.



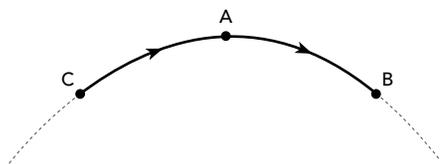
6. Duas cargas puntiformes $q_1 = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $q_2 = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ estão fixas em um plano nas posições dadas pelas coordenadas cartesianas indicadas a seguir.



A intensidade do campo elétrico, em N/C, no ponto A indicado no gráfico, é

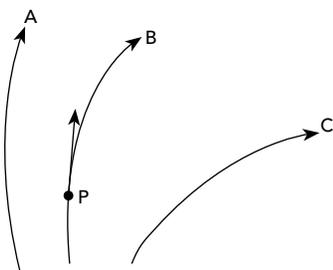
Dado: $K = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)} = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

- a) $9 \cdot 10^7$.
 b) $9\sqrt{5} \cdot 10^7$.
 c) $18 \cdot 10^7$.
 d) $27 \cdot 10^7$.
 e) $9\sqrt{2} \cdot 10^7$.
7. A figura mostra um trecho de uma linha de força de um campo eletrostático. Uma partícula de massa m e carga positiva q é abandonada em repouso no ponto A.



Suponha que a força eletrostática seja a força resultante sobre a partícula. Nesse caso, a partícula

- a) se moverá ao longo da linha de força de A para o ponto B.
 b) permanecerá em repouso no ponto A.
 c) não seguirá a linha de força, mas sua aceleração inicial é tangente à linha no ponto A e com sentido para a esquerda.
 d) se moverá ao longo da linha de força no sentido de A para o ponto C.
 e) não seguirá a linha de força, mas sua aceleração inicial é tangente à linha no ponto A e com sentido para a direita.
8. Na figura a seguir, tem-se a representação de um campo elétrico por meio de suas linhas de campo. O ponto P pertence à linha de campo B.



Assinale a alternativa que completa corretamente a frase seguinte: "Uma partícula de carga elétrica positiva, ao ser abandonada no ponto P, adquire um movimento acelerado com o módulo do vetor aceleração _____ sobre a linha de campo B."

- a) constante e permanece
 b) crescente e não permanece
 c) crescente e permanece
 d) decrescente e não permanece
 e) decrescente e permanece

9. Uma carga elétrica negativa é abandonada em uma região do espaço onde existe um campo elétrico uniforme.

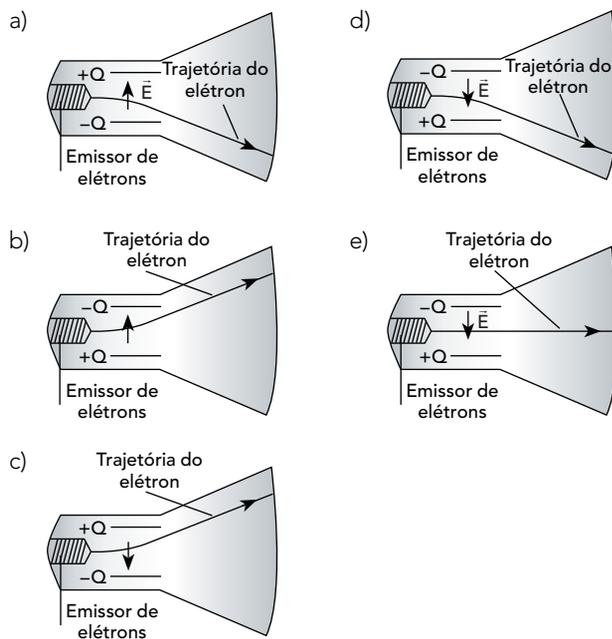
Desprezando outros campos que possam atuar nessa região, assinale a alternativa que traz uma afirmação correta sobre essa carga, enquanto ela estiver nessa região do espaço.

- a) Ela se movimenta no sentido do campo elétrico em movimento uniforme.
 b) Ela se movimenta no sentido do campo elétrico em movimento acelerado.
 c) Ela se movimenta em sentido contrário ao do campo elétrico em movimento uniforme.
 d) Ela se movimenta em sentido contrário ao do campo elétrico em movimento acelerado.
 e) Ela permanecerá em repouso.

10. O tubo de imagem, também denominado cinescópio, é um elemento essencial no aparelho de TV tradicional. Ele possui um emissor de elétrons, que são acelerados por campos elétricos em direção à parte interna da tela. Esta, ao ser atingida, emite luz.

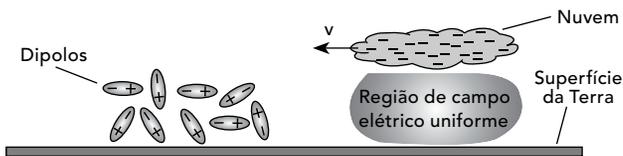
Cada figura a seguir representa um modelo simplificado de cinescópio. Nesses modelos, é mostrada a trajetória de um elétron que passa entre as placas de um capacitor carregado com carga Q, entre as quais existe um campo elétrico \vec{E} , e atinge a tela da TV.

Assinale a alternativa que representa corretamente a direção do campo elétrico \vec{E} entre as placas do capacitor e a trajetória do elétron.



11. O vento desloca uma nuvem carregada com velocidade v constante e horizontal, próximo da superfície da Terra (veja a figura). A nuvem está carregada negativamente com uma distribuição de cargas uniforme. Suponha que, devido à evaporação de água, moléculas de água estejam flutuando próximo à superfície da Terra. Como o centro de cargas positivas dos dois átomos de hidrogênio não coincide com o centro de cargas negativas do átomo de oxigênio que constituem cada molécula de água, pode-se considerar

cada molécula de água como um dipolo elétrico com cargas $+2e$ e $-2e$, em que e é a carga do elétron. Esses dipolos estão inicialmente em repouso e com orientações aleatórias. Considere sempre uniformes os campos gravitacional, produzido pela Terra, e elétrico, produzido pela nuvem.

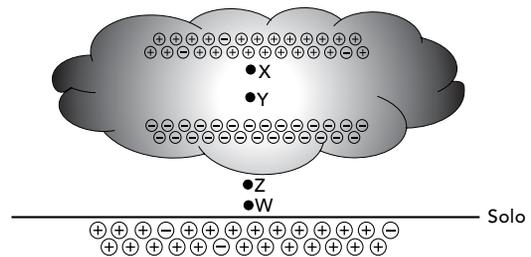


Com relação aos fenômenos físicos que ocorrerão quando a nuvem passar sobre os dipolos, assinale a alternativa correta.

- O vetor que representa o campo elétrico produzido pela nuvem possuirá sentido da nuvem para a superfície da Terra.
- Os dipolos serão alinhados pelo campo elétrico, atraídos e arrastados até a nuvem.
- A força elétrica resultante em cada dipolo será nula.
- Durante o alinhamento dos dipolos, a força elétrica não realiza trabalho nos dipolos.
- Os dipolos ficarão alinhados predominantemente na direção horizontal.

12. Meteorologistas mediram a distribuição de cargas elétricas no interior das nuvens de tempestade, chamadas de cúmulos nimbus, e encontraram um perfil para essa

distribuição de cargas semelhante ao mostrado na figura a seguir. Nessa figura, é mostrado ainda o solo sob a nuvem, que fica carregado positivamente por indução, além dos pontos X, Y, Z e W em destaque.



Desse modo, entre a parte superior e a parte inferior da nuvem, bem como entre a parte inferior da nuvem e o solo, são produzidos campos elétricos da ordem de 100 V/m.

Pode-se afirmar que o sentido do vetor campo elétrico entre os pontos X e Y e entre os pontos Z e W é, respectivamente,

- para baixo e para cima.
- para cima e para baixo.
- para cima e para cima.
- para baixo e para baixo.
- para a direita e para a esquerda.

Fenômenos elétricos e magnéticos

Módulo

3

Campo elétrico II; Potencial elétrico I

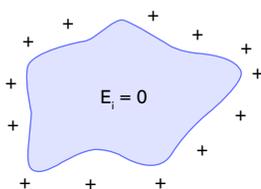
Propriedades dos condutores

Campo elétrico de um condutor

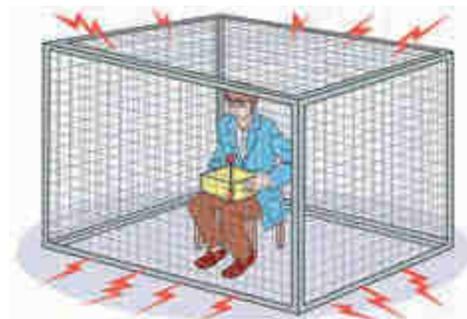
Além das propriedades 1 e 2, já estudadas na aula sobre processos de eletrização, um condutor carregado apresenta as seguintes propriedades:

Propriedade 3

O campo elétrico no **interior** de um condutor em equilíbrio eletrostático é sempre **nulo**.

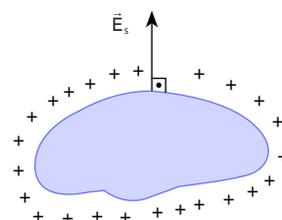


Michael Faraday (1791-1867) realizou uma experiência que ficou conhecida como "gaiola de Faraday" para comprovar que o campo elétrico é nulo no interior dos condutores. Ele entrou com um eletroscópio em uma gaiola metálica, isolada, e seu assistente a carregou eletricamente, ao ponto de saltarem faíscas. Faraday nada sofreu nem o eletroscópio detectou nenhuma carga, comprovando que o campo elétrico no interior da caixa metálica é nulo.



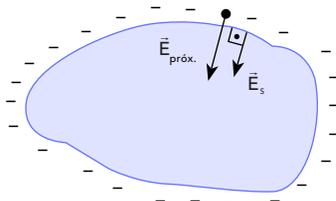
Propriedade 4

Na superfície externa de um condutor em equilíbrio eletrostático, o vetor campo elétrico é **perpendicular** em cada ponto dessa superfície. O seu módulo é calculado pela expressão: $E_s = \frac{\sigma}{2\epsilon}$.



Propriedade 5

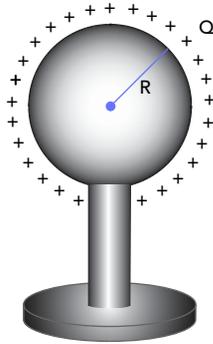
O campo elétrico, nas vizinhanças externas da superfície, é **perpendicular** a esta, e seu módulo é o **dobro** do campo elétrico nessa superfície.



$$E_{\text{próx.}} = 2E_s$$

Campo elétrico de uma esfera condutora

No interior, o campo elétrico é **nulo**, pois a carga em excesso localiza-se na **superfície externa**.



$$E_i = 0$$

Na superfície: $E_s = \frac{\sigma}{2\epsilon}$; $\sigma = \frac{Q}{A}$; $A = 4\pi R^2$

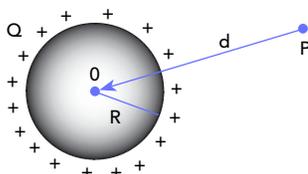
$$E_s = \frac{Q}{4\pi R^2} \cdot \frac{1}{2\epsilon} \Rightarrow E_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{R^2} \Rightarrow E_s = \frac{1}{2} K \cdot \frac{Q}{R^2}$$

Nas proximidades da superfície: $E_{\text{próx.}} = 2E_s$

$$E_{\text{próx.}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot K \cdot \frac{Q}{R^2} \Rightarrow E_{\text{próx.}} = K \cdot \frac{Q}{R^2}$$

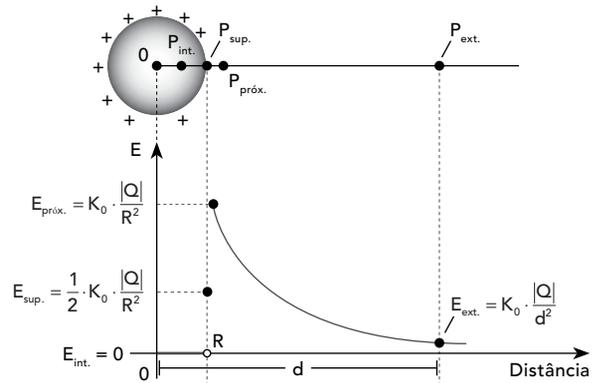
Para os pontos externos: em um ponto P, a uma distância **d** do centro da esfera, para efeito de cálculo do campo elétrico, tudo se passa como se a carga Q estivesse localizada no centro da esfera.

Assim, o campo elétrico, no ponto P, é calculado pela expressão:



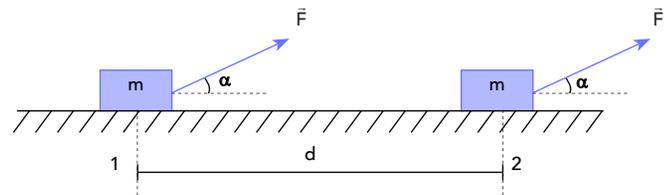
$$E = K \cdot \frac{Q}{d^2}$$

Traçando-se o gráfico do campo elétrico E em função da distância **d** ao centro de uma esfera condutora carregada e de raio R, obtém-se:



Potencial elétrico I

O trabalho de uma força \vec{F} (constante), para deslocar um corpo de massa **m** da posição 1 para a posição 2, é definido pela expressão:

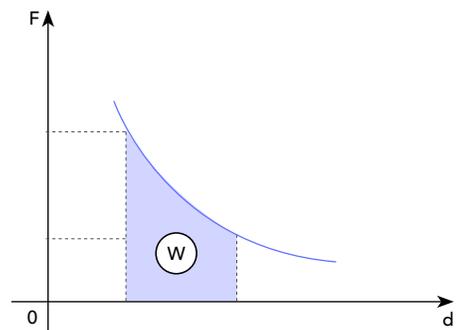


$$W = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Em que:

- F: módulo da força;
- d: módulo do deslocamento;
- α : ângulo formado entre \vec{F} e \vec{d} .

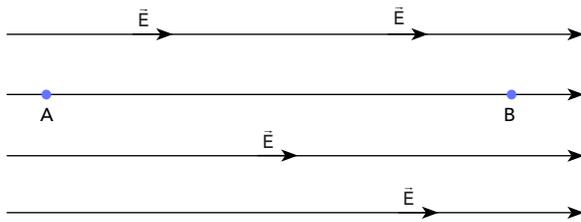
No caso de a força ser variável, o trabalho pode ser calculado por meio da área do gráfico de força \times deslocamento.



Observe que, de uma maneira geral, a força elétrica é variável e, portanto, o trabalho será calculado pela **área** no gráfico da força \times deslocamento.

Diferença de potencial elétrico (d.d.p.)

Imagine dois pontos, A e B, de um campo elétrico.



$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

Uma carga de prova q , colocada no ponto A, ficará sujeita à ação de uma força elétrica, que realiza um trabalho para deslocar a carga de prova de A para B.

A diferença de potencial entre dois pontos A e B (V_{AB}) é a razão entre o trabalho realizado pela força elétrica, para transportar uma carga de prova q do ponto A para o ponto B, e a carga q transportada.

Unidades

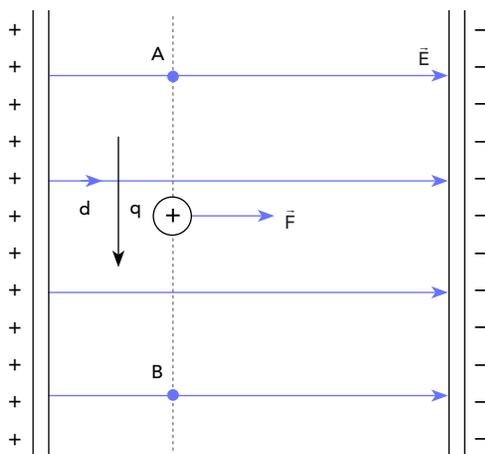
MKS \Rightarrow joule/coulomb (volt \rightarrow V)

CGS \Rightarrow erg/statcoulomb (statvolt \rightarrow statV)

A diferença de potencial entre dois pontos (d.d.p.) é também comumente chamada **tensão** ou **voltagem**.

Conclusões

- Quando uma carga for deslocada entre dois pontos de um campo elétrico, perpendicularmente às linhas de força, e a força elétrica não realizar trabalho, os potenciais elétricos nesses dois pontos serão iguais.

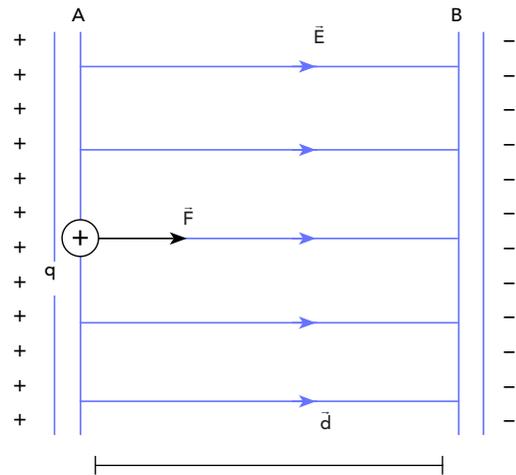


$$W_{AB} = F \cdot d \cdot \cos \alpha \begin{cases} \alpha = 90^\circ \\ \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

$$W_{AB} = 0$$

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \therefore V_{AB} = 0 \Rightarrow V_A - V_B = 0 \Rightarrow V_A = V_B$$

- Cargas positivas deslocam-se espontaneamente de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial, enquanto cargas negativas deslocam-se espontaneamente de pontos de menor potencial para pontos de maior potencial.



$$W_{AB} = F \cdot d \cdot \cos \alpha \begin{cases} \alpha = 0^\circ \\ \cos \alpha = 1 \end{cases}$$

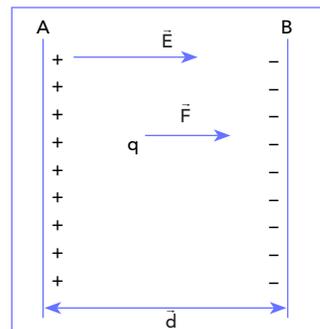
$$W_{AB} = F \cdot d \therefore W_{AB} > 0$$

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q(+)} \therefore V_{AB} > 0 \Rightarrow V_A - V_B > 0 \Rightarrow V_A > V_B$$

- O potencial elétrico **diminui** quando se percorre uma linha de força no seu sentido.

Relação entre diferença de potencial e campo elétrico uniforme

Uma carga q , positiva, abandonada no ponto A interior das placas, é deslocada para o ponto B pela ação da força elétrica.



$$W_{AB} = F \cdot d \cdot \cos \alpha \begin{cases} \alpha = 0^\circ \\ \cos \alpha = 1 \end{cases}$$

$$W_{AB} = F \cdot d \therefore F = q \cdot E$$

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \therefore V_{AB} = \frac{q \cdot E \cdot d}{q}$$

$$V_{AB} = E \cdot d$$

Assim, $E = \frac{V_{AB}}{d}$, e, portanto, o campo elétrico passa a ter as seguintes unidades:

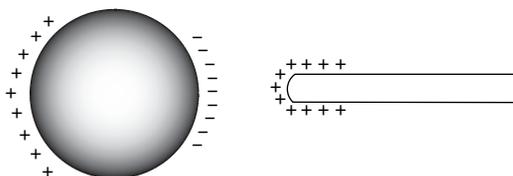
MKS \Rightarrow V/m

CGS \Rightarrow statV/cm



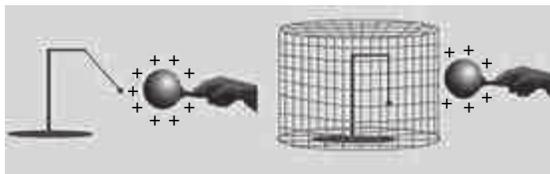
Atividades para sala

1. Atrita-se um bastão com lã, de modo que ele adquira carga positiva. Aproxima-se, então, o bastão de uma esfera metálica com o objetivo de induzir nela uma separação de cargas. Essa situação é mostrada na figura.



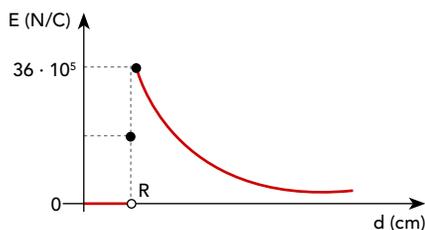
Pode-se, então, afirmar que o campo elétrico no interior da esfera, quando em equilíbrio eletrostático, é

- diferente de zero, horizontal, com sentido da direita para a esquerda.
 - diferente de zero, horizontal, com sentido da esquerda para a direita.
 - nulo apenas no centro.
 - nulo.
 - constante e igual ao da superfície.
2. Michael Faraday provou que o interior de um condutor, mesmo não estando carregado, mas estando em uma região que possui um campo elétrico causado por um agente externo, fica blindado da ação desse campo. Esse efeito é conhecido como blindagem eletrostática.



Indique a aplicação tecnológica do conceito demonstrado por Faraday, na primeira metade do século XIX, na experiência conhecida como gaiola de Faraday.

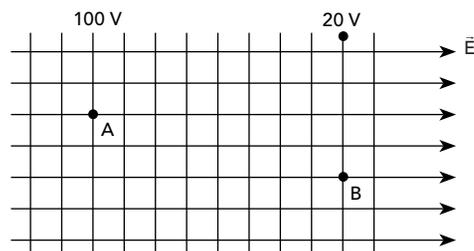
- Isolamento térmico do conteúdo de garrafas térmicas.
 - Atração dos raios em tempestades por para-raios.
 - Isolamento elétrico promovido pela borracha dos pneus de veículos.
 - Recobrimento com material isolante em cabos utilizados para transporte de energia elétrica.
 - Bloqueio para chamadas de telefone celular em penitenciárias.
3. Um condutor esférico de raio $R = 10$ cm é carregado positivamente. O gráfico mostra como o campo elétrico varia com a distância ao centro do condutor.



No ponto P, a 40 cm do centro do condutor, o campo elétrico, em unidades de 10^5 N/C, tem intensidade igual a

- 2,25.
- 4,5.
- 6,75.
- 9,0.
- 18.

4. O esquema a seguir representa um campo elétrico uniforme \vec{E} , no qual as linhas verticais correspondem às superfícies equipotenciais. Uma carga elétrica puntiforme, de intensidade $400 \mu\text{C}$, colocada no ponto A, passa pelo ponto B após algum tempo.



O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar essa carga entre os pontos A e B, em 10^{-3} J, é

- 4.
 - 8.
 - 16.
 - 32.
 - 64.
5. Atingido por um raio na noite da última quinta-feira, o dedo médio da mão direita do Cristo Redentor (aquele popularmente conhecido como "pai de todos") será restaurado [...].

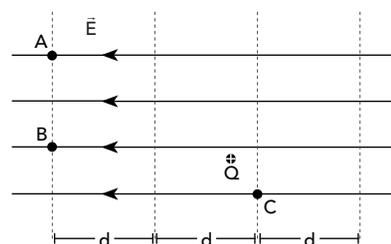


A restauração será feita com incentivos da Lei Rouanet e pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan).

Disponível em: <<http://veja.abril.com.br>>. Acesso em: 20 mar. 2014. (adaptado)

A descarga elétrica a que o texto se refere aconteceu no dia 16/01/2014. Assinale a alternativa que explica corretamente o fenômeno do qual o Cristo Redentor foi vítima.

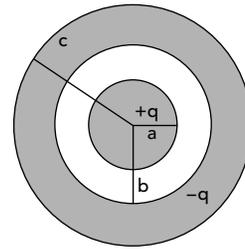
- O ar é bom condutor de eletricidade.
 - Entre o Cristo Redentor e a nuvem, havia uma diferença de potencial que permitiu a descarga elétrica.
 - O Cristo Redentor foi construído de material condutor.
 - Existe um excesso de carga elétrica na Terra.
 - A descarga elétrica foi um aviso para que o ser humano trate melhor o planeta em que vive.
6. Considere a figura a seguir como sendo a de uma distribuição de linhas de força e de linhas verticais tracejadas, com o mesmo potencial elétrico (superfícies equipotenciais) de um campo elétrico uniforme. Nesta região, é abandonada uma carga elétrica Q positiva de massa M , no ponto C.



Assinale a alternativa correta.

- A força elétrica que o campo elétrico exerce sobre a carga elétrica Q tem intensidade $F = QE$, direção horizontal e sentido contrário ao campo elétrico E .
- O potencial elétrico diminui da esquerda para direita.
- O movimento realizado pela carga elétrica Q é espontâneo e para esquerda.
- O potencial elétrico no ponto A é maior que o potencial elétrico no ponto B.
- O trabalho realizado pela força elétrica para levar a carga de C até A é nulo.

- A figura a seguir mostra uma esfera metálica de raio a com carga elétrica $+q$, isolada eletricamente e concêntrica a uma casca esférica, também metálica, de raio interno b e raio externo c , com carga elétrica $-q$.



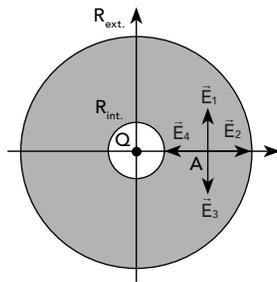
Assinale a opção que representa o gráfico do campo elétrico em função da distância ao centro das esferas.

Atividades propostas

- Uma esfera condutora oca encontra-se eletricamente carregada e isolada. Para um ponto de sua superfície, o módulo do campo elétrico é 900 N/C . Portanto, considerando um ponto no interior da esfera, na parte oca, e outro nas vizinhanças da superfície externa, é correto afirmar que os módulos para o campo elétrico nesses pontos, valem, respectivamente,

- zero N/C e 900 N/C .
- zero N/C e zero N/C .
- 900 N/C e 900 N/C .
- 900 N/C e 1800 N/C .
- zero N/C e 1800 N/C .

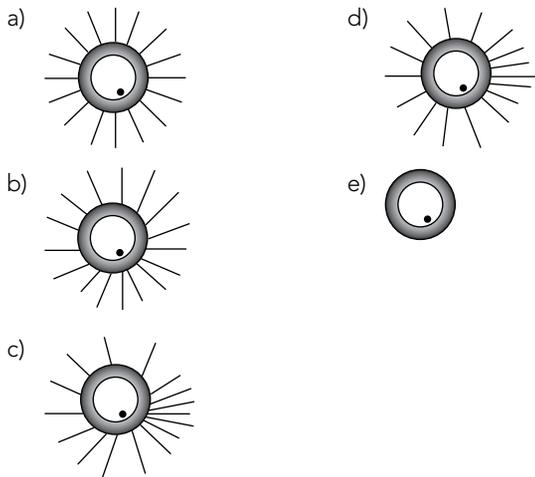
- Uma casca esférica homogênea, feita de material perfeitamente condutor, possui raio interno R_{int} e raio externo R_{ext} . Fixa em seu centro, existe uma carga puntiforme positiva Q (ver figura). Há vácuo nas demais regiões do espaço.



O vetor campo elétrico no ponto A distante R do centro, em que $R_{\text{int}} < R < R_{\text{ext}}$, é

- nulo.
- paralelo ao vetor \vec{E}_1 .
- paralelo ao vetor \vec{E}_2 .
- paralelo ao vetor \vec{E}_3 .
- paralelo ao vetor \vec{E}_4 .

- Coloca-se uma carga puntiforme no interior de uma esfera condutora oca, em uma posição deslocada do centro da esfera. Nas figuras a seguir, a carga puntiforme é representada por um ponto preto no interior da esfera. Assinale a alternativa que melhor representa a distribuição das linhas de campo elétrico no exterior da esfera.

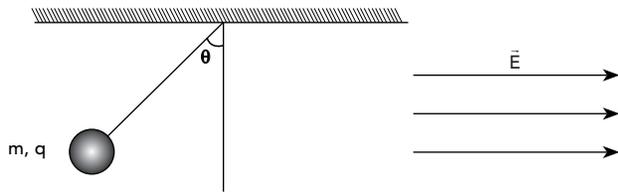


- Gráfico de $E(r)$ vs r com uma única curva que decai como $1/r^2$ a partir de $r=a$.
- Gráfico de $E(r)$ vs r com uma curva que decai como $1/r^2$ até $r=b$, depois cai para zero até $r=c$, e depois decai como $1/r^2$ novamente.
- Gráfico de $E(r)$ vs r com uma curva constante para $r < a$, zero entre a e b , e constante para $r > b$.
- Gráfico de $E(r)$ vs r com uma curva que aumenta linearmente de $r=0$ até $r=a$, depois diminui linearmente até $r=b$, e depois decai como $1/r^2$.
- Gráfico de $E(r)$ vs r com duas curvas de decaimento $1/r^2$ separadas por uma região de campo zero entre $r=b$ e $r=c$.

- Pode-se carregar um condutor no ar até que o campo elétrico na superfície atinja $3,0 \cdot 10^6 \text{ V/m}$. Valores mais altos do campo ionizam o ar na sua vizinhança, liberando o excesso de carga do condutor. Qual a carga máxima, em μC (10^{-6} C), que uma esfera de raio $a = 0,3 \text{ m}$ pode manter?

- 7,5
- 15
- 30
- 45
- 60

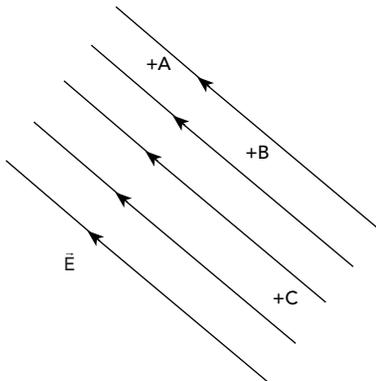
- A figura a seguir mostra o ponto onde uma esfera de massa m e carga q pendurada no teto por um fio inextensível, com massa desprezível, encontra-se em equilíbrio, sob a ação da gravidade e de um campo elétrico E .



- Sobre essa situação, afirma-se, corretamente, que
- a carga da esfera é negativa.
 - o valor do ângulo é dado por $\text{tg } \theta = \frac{mg}{Eq}$.
 - o peso da esfera é equilibrado pela tensão no fio.
 - a força elétrica é equilibrada pelo campo elétrico.
 - o campo elétrico possui o mesmo sentido da força elétrica.

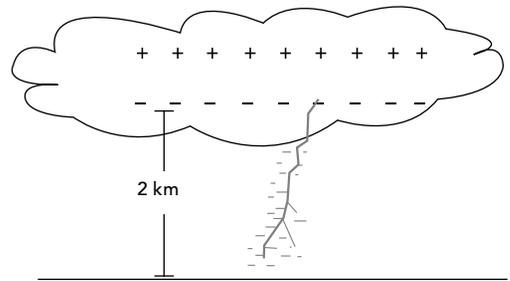
7. Quando um corpúsculo, eletrizado positivamente com carga elétrica de $2,0 \mu\text{C}$, é abandonado no ponto A de um campo elétrico, ele fica sujeito a uma força eletrostática que o leva para o ponto B, após realizar o trabalho de $6,0 \text{ mJ}$. A diferença de potencial elétrico entre os pontos A e B desse campo elétrico é
- 1,5 kV.
 - 3,0 kV.
 - 4,5 kV.
 - 6,0 kV.
 - 7,5 kV.

8. Considere o campo elétrico uniforme E representado pelo conjunto de linhas de força na figura a seguir.



Sobre o potencial elétrico nos pontos A, B e C, marcados com o sinal (+), é correto afirmar que

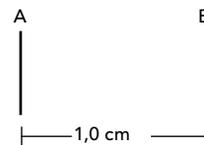
- é o mesmo em todos os pontos.
 - o do ponto A é igual ao do ponto B.
 - o do ponto A é igual ao do ponto C.
 - o do ponto B é maior que o do ponto C.
 - o do ponto A é menor que o do ponto B.
9. Uma carga elétrica de 10^{-6} coulombs é deslocada mediante uma diferença de potencial de 100 volts. O trabalho realizado pela força elétrica, agindo sobre essa carga, é igual a
- 10^{-2} joules.
 - 10^{-6} joules.
 - 10^{-12} joules.
 - 10^{-4} joules.
 - 10^{-10} joules.
10. Pesquisas mostram que mais de 90% dos raios que atingem o solo são cargas negativas que partem de nuvens, conforme a figura a seguir.



Considere a diferença de potencial elétrico entre a distribuição de cargas negativas na base da nuvem e o solo como sendo da ordem de 10^6 V . De modo simplificado, considere uma altura de 2 km entre a base da nuvem e a terra. A melhor aproximação para o módulo do vetor campo elétrico entre a nuvem e o solo, em V/m , é

- $5 \cdot 10^2$.
- $5 \cdot 10^6$.
- $0,5 \cdot 10^6$.
- $0,5 \cdot 10^8$.
- $5 \cdot 10^{-2}$.

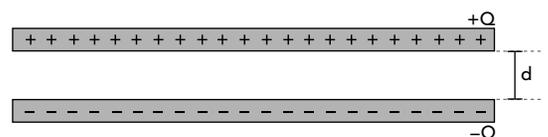
11. Entre duas placas planas e paralelas A e B, distanciadas 1,0 cm uma da outra, há um campo elétrico uniforme de intensidade $5,0 \cdot 10^4 \text{ N/C}$.



Considerando nulo o potencial elétrico da placa A, o potencial elétrico da placa B, em volts, é igual a

- 5,0.
- 50.
- $2,5 \cdot 10^2$.
- $5,0 \cdot 10^2$.
- $2,5 \cdot 10^3$.

12. A figura a seguir representa a vista lateral de duas placas metálicas quadradas que, em um ambiente desumidificado, foram eletrizadas com cargas de mesmo valor e de sinais contrários. As placas estão separadas por uma distância $d = 0,02 \text{ m}$, que é muito menor do que o comprimento de seus lados. Dessa forma, na região entre as placas, existe um campo elétrico praticamente uniforme, cuja intensidade é aproximadamente igual a $5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$. Para se transferir uma carga elétrica positiva da placa negativamente carregada para a outra, é necessário realizar trabalho contra o campo elétrico. Esse trabalho é função da diferença de potencial existente entre as placas.



Quais são, respectivamente, os valores aproximados da diferença de potencial entre as placas e do trabalho necessário para transferir uma carga elétrica de $3 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ da placa negativa para a positiva?

- 15 V e 0,2 J.
- 75 V e 0,3 J.
- 75 V e 0,4 J.
- 100 V e 0,3 J.
- 100 V e 0,4 J.

Neste livro:

Módulo 1: Fundamentos da Óptica Geométrica e espelhos planos.....36
Módulo 2: Espelhos esféricos.....45
Módulo 3: Introdução ao estudo da refração da luz; Reflexão total; Prismas.....50

Oscilações, ondas,
óptica e radiação

Módulo

1

Fundamentos da Óptica Geométrica e espelhos planos

C	6
H	20

Por que o céu é azul?

Essa talvez seja uma das dúvidas que muitas crianças carregam consigo até ficarem adultas. Para explicar melhor, é preciso falar um pouco sobre o espalhamento da luz. O fenômeno envolvido é o seguinte: quando a luz atravessa um meio, ela é espalhada pelas partículas desse meio. Quando o Sol está alto, a sua luz atravessa uma fina camada da atmosfera. Essa camada não é suficientemente espessa para esgotar muito o azul da luz do Sol. No final da tarde, no entanto, a luz do Sol poente incide obliquamente na atmosfera e segue um caminho muito maior no ar. Espalha-se mais o azul, ficando apenas o vermelho. Daí, tem-se o avermelhado do Sol ao entardecer e começo do anoitecer.

O texto pareceu estranho? As explicações possuíam termos desconhecidos? A partir do estudo que aqui se inicia, essa explicação se tornará mais natural ao final.

No estudo a seguir, serão abordados, buscando uma linguagem fácil, objetiva e didática, a luz e os fenômenos luminosos em geral, como seu comportamento, sua natureza, assim como a reflexão e a refração.

Natureza da luz

Em 1675, o inglês Isaac Newton, em um de seus artigos, definiu a luz como um conjunto de corpúsculos materiais em movimento, cujas trajetórias seriam retas. Já o físico e astrônomo Huygens, em 1678, propôs que os fenômenos de propagação da luz seriam mais bem explicados se ela fosse considerada uma onda.

No começo do século XIX, a teoria de Newton foi definitivamente colocada em desuso, e a luz passou a ser considerada uma propagação ondulatória, graças aos estudos do britânico Thomas Young. Contudo, evidências mais recentes apontam que, ao lado das ondas, a luz transporta também corpúsculos de energia denominados **fótons**, apresentando, portanto, uma natureza dual (partícula-onda), segundo a teoria do francês Louis de Broglie.



Isaac Newton

Wikimedia Commons

O transporte de energia radiante da luz é realizado por meio de ondas eletromagnéticas; tais ondas, além de não precisarem de um meio material para se propagar – podendo, portanto, propagar-se no vácuo –, possuem uma enorme velocidade.

No vácuo, a velocidade de propagação da luz (c) vale, aproximadamente:

$$c \cong 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Normalmente, apenas uma parcela de energia radiante proporciona a sensação de visão ao atingir o olho. A essa parcela denomina-se **luz**, e ela possui frequência entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz e $8 \cdot 10^{14}$ Hz.

Saiba mais

O **ano-luz** é uma unidade de comprimento (e não de tempo) equivalente à distância percorrida pela luz durante um ano no vácuo. Essa unidade de medida é muito utilizada em Astronomia.

Tipos de fontes de luz

É possível enxergar um corpo porque ele emite luz, a qual incide nos olhos, fazendo com que seja possível distinguir cores, formatos etc. Em Óptica, os corpos podem ser classificados em:

- **Corpos luminosos (fonte primária)** – É o nome dado aos corpos que emitem luz própria. Subdividem-se em:
 - incandescentes;
 - luminescentes.

Exemplo: chama de uma vela acesa.

- **Corpos iluminados (fonte secundária)** – É o nome dado aos corpos que refletem a luz recebida de outras fontes.
- Exemplo: lâmpada apagada.

Classificação das fontes de luz

Quanto às dimensões, as fontes de luz podem ser classificadas em:

- **Fonte pontual ou puntiforme** – Suas dimensões são desprezíveis em relação ao ambiente em estudo. Pode, ainda, ser uma fonte representada por um único ponto, emitindo infinitos raios de luz.

Exemplo: uma pequena lâmpada em um estádio de futebol.

- **Fonte extensa** – Suas dimensões são relevantes em relação ao ambiente em estudo. Pode, ainda, ser uma fonte constituída de infinitos pontos de luz.
Exemplos: uma lâmpada próxima a um livro; o Sol iluminando a Terra.

Meios de propagação da luz

- **Transparentes** – São aqueles nos quais a luz se propaga de forma “plena”.
Exemplos: ar puro, película de vidro de um celular.
- **Translúcidos** – São aqueles em que a luz sofre uma difusão, causando dificuldade de nitidez.
Exemplos: vidro jateado, papel seda, neblina etc.
- **Opacos** – São aqueles nos quais não ocorre a propagação da luz.
Exemplos: parede de alvenaria, placa de metal etc.

Leitura complementar

A cor dos objetos

A cor apresentada por um corpo, ao ser iluminado, depende do tipo de luz refletida difusamente por ele. A luz branca é constituída por uma infinidade de cores e pode ser dividida em sete cores básicas: vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta. Um observador vê cada corpo com uma determinada cor da seguinte maneira: se a luz incidente no corpo é branca (composta de todas as cores) e o corpo absorve toda a gama de cores, refletindo apenas a azul, o corpo é de cor azul. Então, o corpo branco é aquele que reflete difusamente toda a luz branca incidente, e o corpo negro é aquele que absorve todas as cores, não refletindo difusamente nenhuma cor.

Princípios básicos da Óptica Geométrica

Princípio da Independência dos Raios Luminosos

Se dois ou mais raios de luz, vindos de fontes diferentes, cruzam-se, eles seguem suas trajetórias de forma independente, passando uns pelos outros.

Exemplo: o uso simultâneo de vários refletores durante um show.

Princípio da Reversibilidade dos Raios de Luz

Se um raio de luz se propaga em uma direção e em um sentido arbitrários, outro poderá propagar-se na mesma direção e em sentido oposto.

Exemplo: quando uma pessoa olha um espelho retrovisor e percebe que alguém a observa por meio desse mesmo espelho.

Princípio da Propagação Retilínea da Luz

Nos meios transparentes e homogêneos, a luz se propaga em linha reta.

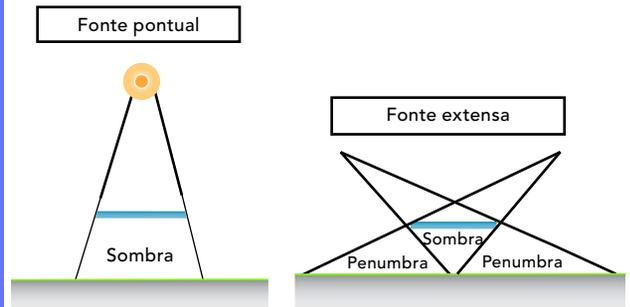
Exemplo: a formação de sombras e penumbras.

Saiba mais

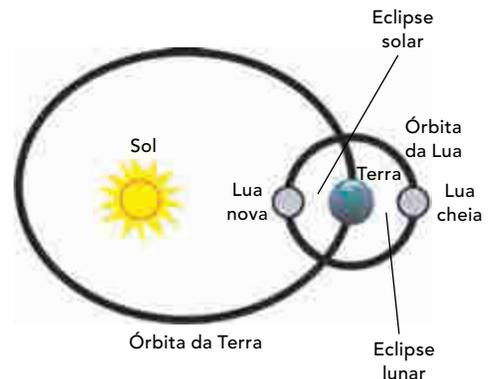
Sombra, penumbra e eclipse

Sombra é uma região do espaço que não recebe a luz direta da fonte.

Penumbra é uma região que recebe apenas parte da luz direta da fonte.



Os conceitos de sombra e penumbra podem ser usados na explicação do fenômeno do eclipse. Ao longo de seu movimento em torno da Terra, a Lua pode se alinhar entre o Sol e a Terra: nesse caso, a visão do Sol pode ficar total ou parcialmente obstruída pela Lua, o que caracteriza um eclipse solar. É fácil verificar, pela figura a seguir, que tal eclipse só pode ocorrer nas épocas de Lua nova.



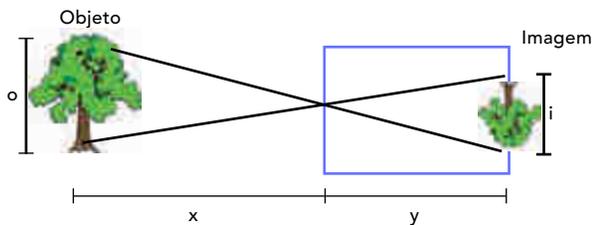
Em resumo, os tipos de eclipse são:

- **Eclipse total do Sol** – É visualizado quando o observador se encontra em uma região de sombra da Lua.
- **Eclipse parcial do Sol** – É visualizado quando o observador se encontra em uma região de penumbra da Lua.
- **Eclipse total da Lua** – É visualizado quando o observador se encontra em uma região de sombra da Terra.
- **Eclipse parcial da Lua** – É visualizado quando o observador se encontra em uma região de penumbra da Terra.

Leitura complementar

Câmara escura de orifício

Denominação dada a uma caixa de paredes opacas que possui uma pequena abertura em uma dessas paredes, permitindo a entrada de luz. Colocando um objeto AB em frente à câmara, os raios de luz provenientes desse objeto atravessam o orifício na caixa e formam uma figura de tamanho proporcional ao do objeto, porém invertida, denominada **imagem**.



Tem-se:

- **i**: altura da imagem;
- **o**: altura do objeto;
- **x**: distância do objeto à parede da câmara;
- **y**: distância da imagem à parede da câmara.

Por semelhança de triângulos, tem-se:

$$\frac{o}{x} = \frac{i}{y}$$

A câmara escura de orifício representa o princípio básico de funcionamento de uma máquina fotográfica.

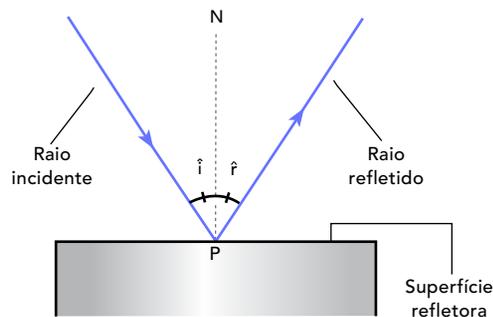
As leis da reflexão

Primeira Lei

O raio incidente, a reta normal à superfície refletora no ponto de incidência e o raio refletido sempre permanecem no mesmo plano.

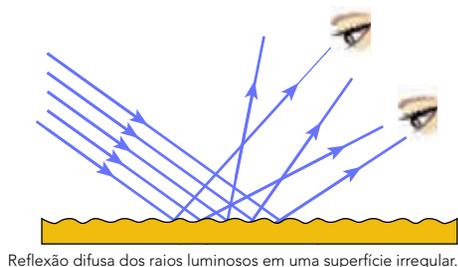
Segunda Lei

O ângulo de incidência (*i*) é sempre igual ao ângulo de reflexão (*r*).



Espelho plano

Um espelho plano é formado por uma placa de vidro sobre a qual é colocada uma fina película de prata, chamada de superfície refletora. Quando a luz incide em uma superfície desse tipo, ela é refletida regularmente, fato que permite a formação de imagens. Os corpos que possuem superfícies irregulares, devido à ausência de regularidade na reflexão, não produzem imagens. Esses corpos, quando iluminados, mostram suas características (cor, forma e textura). Em um espelho plano, o vidro protege a superfície refletora contra danos que possam ser causados pela ação do ar e da umidade.



Curiosidades

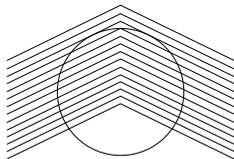
Ilusão de óptica

Qual é o erro na placa a seguir?



Essa ilusão, muito usada por psicólogos, mostra a capacidade de o cérebro assimilar uma mensagem sem perceber um erro aparente, ou, nesse caso, um excesso de informações. Existem pessoas que percebem imediatamente o que está errado, mas há outras que levam semanas até descobrir; isso é o que os psicólogos chamam de *gestalt*. Quando as pessoas olham a placa, inconscientemente já assimilam a mensagem, só que não leem palavra por palavra.

Outro exemplo é o da imagem ao lado, que é realmente um círculo; são as linhas retas que o cortam que confundem o cérebro.



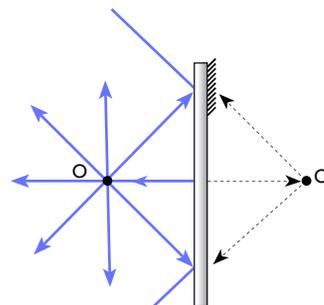
Reflexão da luz

Quando a luz incide em uma superfície que separa dois meios e retorna ao meio original, diz-se que ela sofre **reflexão**. Esse fenômeno óptico é dividido em dois tipos:

- **Reflexão difusa** – É a reflexão produzida por todos os corpos que não apresentam uma superfície polida como um espelho.
- **Reflexão especular** – Ocorre quando um feixe incide em uma superfície polida e volta regularmente para o meio original; por exemplo, se o feixe incidente é paralelo, o refletido também será. Esse tipo de reflexão permite a formação de imagens.

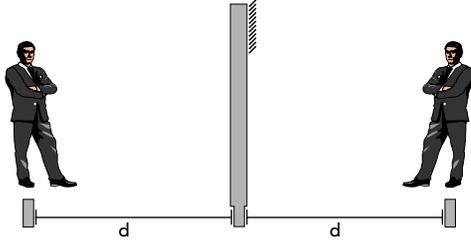
Construção de imagens nos espelhos planos

Observe um ponto-objeto *O* real, luminoso, diante de um espelho plano, emitindo luz em todas as direções, conforme indica a figura ao lado. Observe que a parte de trás do espelho (à direita, nesse exemplo) é marcada por prolongamentos. A imagem *O'* encontrada é resultado do prolongamento dos raios refletidos; caracterizando uma imagem **virtual**.



Características dos espelhos planos

- Chamando de **d** a distância do objeto ao espelho, a distância entre o espelho e a imagem formada por ele será, também, **d**. Dessa forma, o objeto e a imagem são simétricos em relação ao espelho.



Faça o seguinte experimento: encoste a ponta de uma caneta no vidro de um espelho. A imagem refletida não tocará a ponta da caneta. Por que isso acontece?

- As imagens formadas em um espelho plano são **enantiomorfas**, ou seja, são invertidas da direita para a esquerda, mas não de baixo para cima. Assim, a imagem espelhada da mão esquerda é a mão direita, mas a imagem dos pés não corresponde à cabeça.

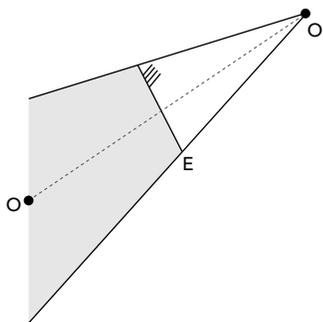


Nota-se que imagem e objeto são de naturezas opostas e possuem a mesma distância entre si.

- Todo objeto real conjuga uma imagem virtual. Portanto, o objeto e a imagem são de natureza opostas.
- O espelho plano não amplia nem reduz o tamanho da imagem em relação ao objeto, ou seja, $i = o$.

Campo visual

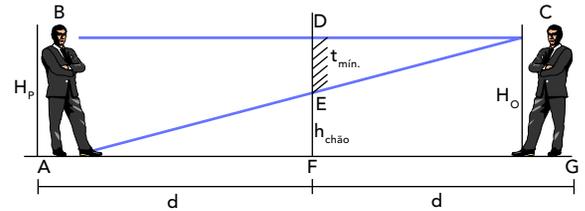
Chama-se de **campo visual** de um espelho plano a região que pode ser vista por um observador usando a reflexão no espelho.



O procedimento mais prático para a determinação do campo visual é construindo a imagem do ponto O, na figura definida por O', simétrico de O, e uni-la às extremidades do espelho plano E. Toda a região destacada na figura faz parte do campo visual que o observador tem no espelho.

Saiba mais

Tamanho mínimo do espelho suspenso para se ver de corpo inteiro



$$\Delta ABC \sim \Delta CDE$$

$$\frac{H_p}{t_{\min.}} = \frac{2d}{d}$$

$$t_{\min.} = \frac{H_p}{2}$$

$$\Delta AGC \sim \Delta AFE$$

$$\frac{H_o}{h_{\text{chão}}} = \frac{2d}{d}$$

$$\frac{H_o}{h_{\text{chão}}} = \frac{H_o}{2}$$

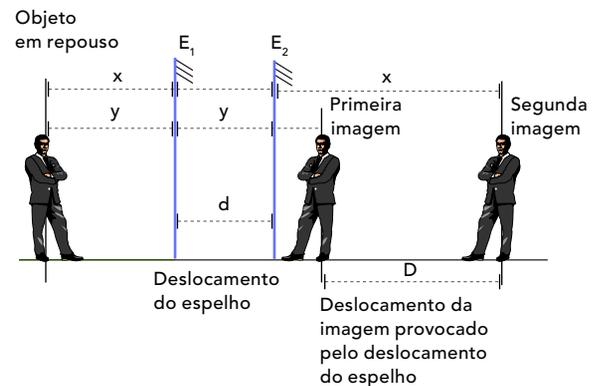
H_p : Altura da pessoa H_o : Distância do olho ao chão

$t_{\min.}$: Tamanho mínimo do espelho para a pessoa se ver por completo.

$h_{\text{chão}}$: Altura mínima a que o espelho deve encontrar-se do chão.

Translação de um espelho plano

Considere um objeto em repouso diante de um espelho plano. Ocorre translação quando esse espelho (na figura a seguir representado por E_1) sofre um deslocamento horizontal, provocando também uma mudança na posição da imagem. Observe o infográfico a seguir.



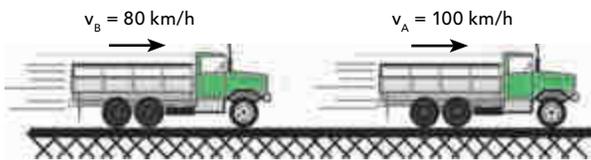
A relação entre o deslocamento do espelho (d) e o deslocamento da imagem (D) em relação ao objeto em repouso pode ser escrita:

$$D = 2 \cdot d$$

Para fazer uma análise do movimento relativo espelho-objetos-imagens, pode-se fundamentar nos mesmos conceitos usados em Mecânica e listados a seguir.

Velocidade relativa de dois corpos na mesma direção – Resumo

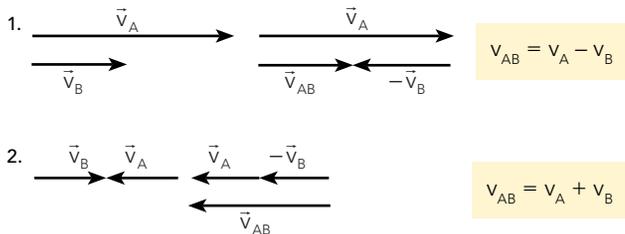
Admita a situação em que os dois móveis representados a seguir tenham velocidades, em relação à Terra, iguais a $v_A = 100 \text{ km/h}$ e $v_B = 80 \text{ km/h}$.



A cada hora, o observador do móvel B vê o móvel A se afastar 20 km (pois, enquanto o móvel B avança 80 km, o móvel A avança 100 km). Pode-se dizer, então, que a velocidade relativa do móvel A em relação ao móvel B é de 20 km/h. Lembrando que a velocidade de um móvel depende do referencial adotado, pode-se generalizar a situação anterior escrevendo:

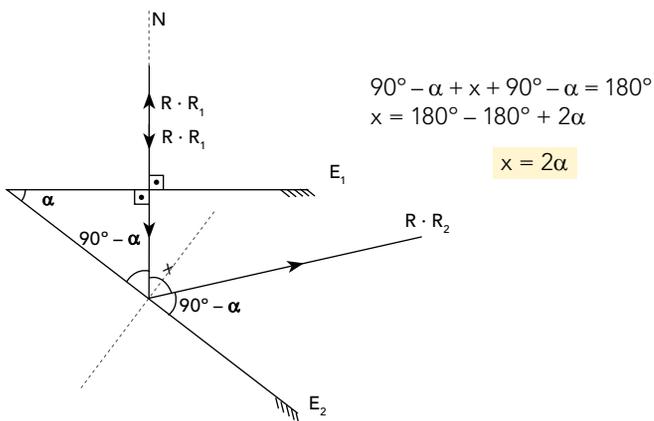
$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$$

Para o estudo dos espelhos planos, é possível destacar os dois casos a seguir.



Rotação de um espelho plano

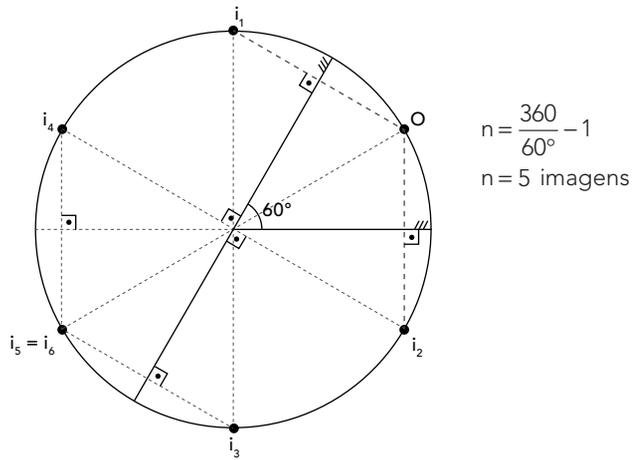
De acordo com a demonstração a seguir, pode-se observar que, se um espelho plano, inicialmente na posição 1, representada por E_1 na figura, sofrer rotação de um ângulo α , passando a ocupar a posição E_2 , o raio refletido sofrerá, em relação ao raio refletido 1, uma rotação angular igual a 2α .



Associação de espelhos planos

Espelhos planos conjugam apenas uma imagem de cada objeto. No entanto, se o objeto for colocado entre dois espelhos que formam um ângulo entre si, serão produzidas mais de duas imagens. A quantidade de imagens é resultado das múltiplas reflexões nos dois espelhos. À medida que o ângulo diminui, aumenta o número de imagens.

Observe a figura representando dois espelhos com ângulo de 60° .



Considere o objeto O na frente de dois espelhos planos E_1 e E_2 , associados em um ângulo de 60° , e a obtenção das cinco imagens.

O número de imagens n pode ser obtido utilizando-se a expressão matemática a seguir, em que α é o ângulo formado entre os espelhos.

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

Observe que o -1 da fórmula deve-se à última imagem, que sofre superposição.

- Quando a relação $\frac{360}{\alpha}$ resultar em número par, a fórmula vale para qualquer posição do objeto.
- Quando a relação $\frac{360}{\alpha}$ resultar em número ímpar, a fórmula vale apenas se o objeto estiver equidistante dos dois espelhos.
- As imagens obtidas por reflexões ímpares são figuras enantiomorfas do objeto. As imagens obtidas por reflexões pares são iguais e superponíveis ao objeto.
- Se o ângulo for igual a 0° , teoricamente, a quantidade de imagens deverá ser infinita, o que não ocorre, porque a cada reflexão, uma parte da luz é absorvida pelo espelho, impossibilitando esse caráter infinito.



Atividades para sala

1. Bope troca a mística farda preta por camuflada em operações diurnas

O Bope (Batalhão de Operações Policiais Especiais) vai trocar sua tradicional farda preta, nas operações diurnas, por um moderno camuflado digitalizado verde. [...] O uniforme preto, porém, não vai ser abandonado. Continuará a ser empregado pelo Grupo de Resgate e Retomada de Reféns (GRR) e pela tropa em operações à noite.

“A cor preta contrasta-se facilmente com qualquer cor, à exceção dela mesma. O policial fardado de preto pode ser plotado à distância, tornando-se um alvo fácil no ambiente operacional”, afirma estudo do tenente-coronel PM Fábio Souza, para o Curso Superior de Polícia, que ajudou a embasar tecnicamente a decisão. [...]

No trabalho "Desempenho Operacional do Uniforme de Combate Digitalizado nas Áreas de Risco do Rio de Janeiro", o oficial aponta cientificamente as muitas vantagens da farda negra em comparação com a camuflada digital. [...]

A farda preta é facilmente identificável à distância durante o dia, pelo contraste da cor com o ambiente, e até à noite, quando "faz silhueta", expondo os PMs. Outro ponto negativo que foi levado em consideração é que a camisa e as calças pretas acumulam muito calor, sob o forte sol fluminense. Frequentemente provocam desidratação e intermação*, com mal-estar e desmaios aos soldados.

*Intermação é uma situação semelhante à insolação, porém mais grave, e pode levar à morte. É causada pelo aumento da temperatura corporal e pela má refrigeração do corpo, por incapacidade de suar adequadamente.

Disponível em: <<http://goo.gl/UA6NaW>>. Acesso em: 2 jul. 2014. (adaptado)

Do texto, pode-se inferir que, do ponto de vista físico, a farda preta

- reflete difusamente a luz branca proveniente do Sol.
- refrata parte da luz do Sol que incide sobre ela.
- absorve integralmente todas as cores da luz do Sol.
- reflete regularmente todas as cores da luz do Sol.
- absorve parcialmente algumas das cores e reflete outras.

2. Analise a figura.



Quando observamos que dois ou mais feixes de raios luminosos se encontram e que a propagação de cada um deles não é alterada, como mostrado na figura, isso nos prova um dos princípios da Óptica Geométrica denominado

- Princípio da Reflexão.
- Princípio da Refração.
- Princípio da Propagação Retilínea da Luz.
- Princípio da Reversibilidade do Raio Luminoso.
- Princípio da Independência da Propagação dos Raios Luminosos.

3. (ENEM) O efeito Tyndall é um efeito óptico de turbidez provocado pelas partículas de uma dispersão coloidal. Foi observado pela primeira vez por Michael Faraday em 1857 e, posteriormente, investigado pelo físico inglês John Tyndall. Este efeito é o que torna possível, por exemplo, observar as partículas de poeira suspensas no ar por meio de uma réstia de luz, observar gotículas de água que formam a neblina por meio do farol do carro ou, ainda, observar o feixe luminoso de uma lanterna por meio de um recipiente contendo gelatina.

REIS, M. *Completamente Química: Físico-Química*. São Paulo: FTD, 2001. (adaptado)

Ao passar por um meio contendo partículas dispersas, um feixe de luz sofre o efeito Tyndall devido

- à absorção do feixe de luz por esse meio.
- à interferência do feixe de luz nesse meio.

- à transmissão do feixe de luz nesse meio.
- à polarização do feixe de luz por esse meio.
- ao espalhamento do feixe de luz nesse meio.

4. Quando deixamos um carro estacionado durante algumas horas sob o Sol, percebemos que seu interior fica muito quente e que, às vezes, podem até ocorrer pequenas rachaduras no painel, devido à exposição à radiação solar. Para tentar minimizar essa incidência de luz solar no painel do carro e melhorar a temperatura em seu interior, uma possível solução é o uso dos protetores solares laminados, como ilustrado nas figuras.



Qual a explicação física que justifica o funcionamento desses protetores?

- Por serem laminados, eles favorecem a absorção da radiação solar, minimizando a quantidade de calor irradiado para o interior do carro.
- A estrutura laminada do protetor solar favorece a reflexão da luz incidente, minimizando a quantidade de calor absorvida por ele e a transmitida para o interior do carro.
- Os protetores solares são capazes de polarizar a luz incidente e é esse fenômeno de "filtragem" da luz que é o responsável pela minimização da quantidade de calor que entra no carro.
- A estrutura laminada favorece a interferência destrutiva entre as ondas luminosas incidentes e as refletidas, minimizando a quantidade de calor que entra no carro.
- Como a estrutura laminada tem dimensões que desfavorecem a difração da luz, a quantidade de energia luminosa que entra no carro, sob a forma de calor, acaba sendo minimizada.

5. Leia o texto a seguir.

É impossível para o espelho da alma refletir na imaginação alguma coisa que não esteja diante dele. É impossível que o lago tranquilo mostre em sua profundidade a imagem de qualquer montanha ou o retrato de qualquer árvore ou nuvem que não exista perto do lago. É impossível que a luz projete na terra a sombra de um objeto que não exista. Nada pode ser visto, ouvido ou de outro modo sentido, sem ter essência real [...]

Trecho de "Desabafo de Segunda-Feira", de Raul Seixas.

Com base no texto anterior, analise as afirmativas a seguir e marque a que traz uma afirmação verdadeira.

- A imagem de um objeto mostrada pelo lago tranquilo é virtual, direita e do mesmo tamanho do objeto.
- A sombra de um objeto projetada pela luz, na terra, acontece devido ao princípio da reversibilidade da luz.
- Nada pode ser visto, sem ter essência real. Neste caso, a visão ocorre por causa da refração da luz ao passar pelos objetos reais.
- Ao afirmar que nada pode ser ouvido sem ter essência real, o autor se refere ao som, que é uma onda eletromagnética capaz de se propagar em todos os meios materiais.
- Quanto ao espelho, pode-se dizer que somente poderá ser plano, pois é o único que sempre produzirá imagens de coisas que estão diante dele.

6. Na noite do *réveillon* de 2013, Lucas estava usando uma camisa com o ano estampado. Ao visualizá-la através da imagem refletida em um espelho plano, o número do ano em questão observado por Lucas se apresentava da seguinte forma:
 a) 310S b) Ǝ10S c) S013 d) 310S e) 2013
7. O ângulo entre dois espelhos planos é de 20° . Um objeto de dimensões desprezíveis é colocado em uma posição tal que obterá várias imagens formadas pelo conjunto de espelhos. Das imagens observadas, assinale a alternativa que indica o número de imagens enantiomorfas.
 a) 8 b) 9 c) 10 d) 17 e) 18
8. Um cabeleireiro posiciona dois espelhos planos atrás de sua cliente de tal forma que ambos formem entre si um ângulo de 60° . Seu objetivo é que ela veja a parte traseira de seu penteado no espelho colocado na parede à sua frente. O número de imagens formadas nos dois espelhos, que ela verá no espelho à sua frente, será igual a
 a) 2. b) 3. c) 4. d) 5. e) 6.
9. Ao acordar pela manhã, Camilla levantou-se e saiu em direção perpendicular ao espelho plano colado à parede de seu quarto, com velocidade constante de 45,0 cm/s. Nesta situação, pode-se afirmar que
 a) a imagem de Camilla aproximou-se dela a 45,0 cm/s.
 b) a imagem de Camilla aproximou-se do espelho a 90,0 cm/s.
 c) a imagem de Camilla aproximou-se dela a 90,0 cm/s.
 d) a imagem de Camilla afasta-se do espelho a 45,0 cm/s.
 e) a imagem de Camilla afasta-se dela a 90,0 cm/s.

3. (ENEM) É comum aos fotógrafos tirar fotos coloridas em ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, que contêm uma forte composição de luz verde. A consequência desse fato na fotografia é que todos os objetos claros, principalmente os brancos, aparecerão esverdeados. Para equilibrar as cores, deve-se usar um filtro adequado para diminuir a intensidade da luz verde que chega aos sensores da câmera fotográfica. Na escolha desse filtro, utiliza-se o conhecimento da composição das cores-luz primárias: vermelho, verde e azul; e das cores-luz secundárias: amarelo = vermelho + verde; ciano = verde + azul; magenta = vermelho + azul.

Disponível em: <<http://nautilus.fis.uc.pt>>. Acesso em: 20 maio 2014. (adaptado)

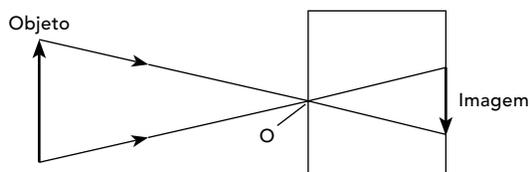
Na situação descrita, qual deve ser o filtro utilizado para que a fotografia apresente as cores naturais dos objetos?

- a) Ciano
 b) Verde
 c) Amarelo
 d) Magenta
 e) Vermelho
4. O trecho a seguir é do poema "A Rosa de Hiroxima" de Vinicius de Moraes e que foi musicado por Gerson Conrad da banda Secos e Molhados.
 [...]

A antirrosa atômica
 Sem cor sem perfume
 Sem rosa sem nada.

No trecho do poema a citação "[...] Sem cor [...]" nos leva a fazer o seguinte questionamento: o que define a cor de um objeto? Assinale a alternativa que contém a resposta correta para essa pergunta.

- a) Depende somente da cor de luz incidente sobre a superfície do objeto.
 b) Depende da interação da cor de luz incidente e do pigmento existente na superfície do objeto.
 c) Depende somente do pigmento existente na superfície do objeto.
 d) Depende somente da composição química do objeto.
 e) Depende do pigmento existente na superfície do objeto e se a superfície é polida ou fosca.
5. Uma câmera fotográfica caseira pode ser construída a partir de uma caixa escura, com um minúsculo orifício O (indicado na figura) em um dos lados, e uma folha de papel fotográfico no lado interno oposto ao orifício. A imagem de um objeto é formada segundo o diagrama a seguir.



O fenômeno ilustrado ocorre porque

- a) a luz apresenta ângulos de incidência e de reflexão iguais.
 b) a direção da luz é variada quando passa através de uma pequena abertura.
 c) a luz produz uma imagem virtual.
 d) a luz viaja em linha reta.
 e) a luz contorna obstáculos.

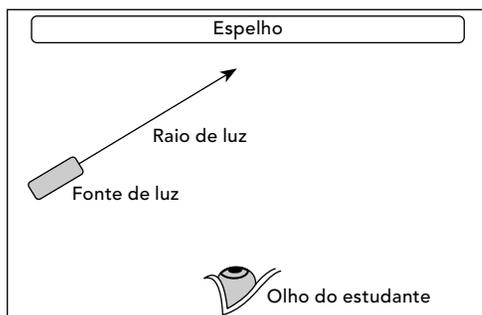


Atividades propostas

1. O uso de cores claras na pintura das paredes externas de uma casa é uma prática que contribui para o conforto térmico das residências, pois minimiza o aquecimento dos ambientes internos. Além disso, essa atitude diminui os gastos de energia com ventiladores ou aparelhos de ar-condicionado. A escolha de tintas de cores claras se justifica, pois, na interação da radiação solar com essa tinta, predomina o fenômeno de
 a) refração. c) condução. e) reflexão.
 b) absorção. d) convecção.
2. A projeção de sombras em uma parede branca é uma divertida brincadeira baseada em alguns princípios físicos. A figura ao lado mostra uma sombra com o formato de um coelho, obtida com as mãos funcionando como obstáculos, posicionadas entre uma fonte de luz e a parede.
-
- A projeção apenas de sombras na situação mostrada, sem a presença de penumbras, só é possível
 a) porque a luz pode propagar-se em trajetória curva, contornando as mãos.
 b) se as mãos forem bem pequenas, como as de uma criança.
 c) se as dimensões do ambiente onde a projeção é feita forem bem maiores do que as das mãos.
 d) se as mãos estiverem bem distantes da parede.
 e) se a fonte de luz tiver tamanho desprezível em relação às dimensões das mãos.

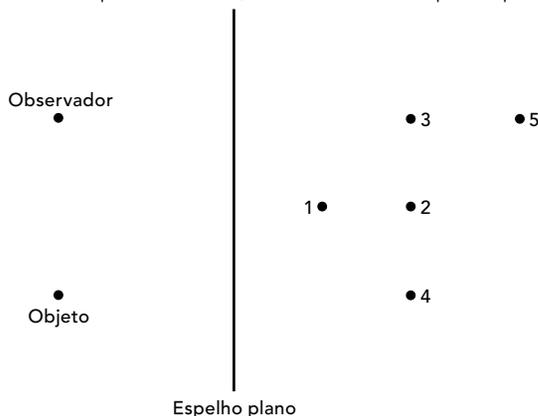
6. O Teatro de Luz Negra, típico da República Tcheca, é um tipo de representação cênica caracterizada pelo uso do cenário escuro com uma iluminação estratégica dos objetos exibidos. No entanto, o termo Luz Negra é fisicamente incoerente, pois a coloração negra é justamente a ausência de luz. A luz branca é a composição de luz com vários comprimentos de onda e a cor de um corpo é dada pelo comprimento de onda da luz que ele predominantemente reflete. Assim, um quadro que apresente as cores azul e branca quando iluminado pela luz solar, ao ser iluminado por uma luz monocromática de comprimento de onda correspondente à cor amarela, apresentará, respectivamente, uma coloração
- amarela e branca.
 - negra e amarela.
 - azul e negra.
 - totalmente negra.
 - amarela e negra.

7. Um professor de Física propôs aos seus alunos que idealizassem uma experiência relativa ao fenômeno luminoso. Pediu para que eles se imaginassem em uma sala completamente escura, sem qualquer material em suspensão no ar e cujas paredes foram pintadas com uma tinta preta ideal, capaz de absorver toda a luz que incidisse sobre ela. Em uma das paredes da sala, os alunos deveriam imaginar uma fonte de luz emitindo um único raio de luz branca que incidisse obliquamente em um extenso espelho plano ideal, capaz de refletir toda a luz nele incidente, fixado na parede oposta àquela na qual o estudante estaria encostado (observe a figura a seguir).



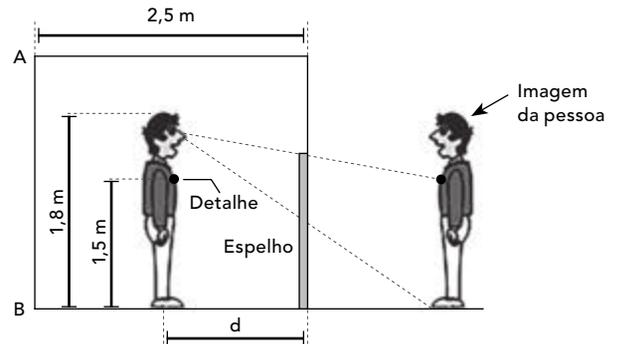
Se tal experiência pudesse ser realizada nas condições ideais propostas pelo professor, o estudante dentro da sala

- enxergaria somente o raio de luz.
 - enxergaria somente a fonte de luz.
 - não enxergaria nem o espelho nem o raio de luz.
 - enxergaria somente o espelho em toda sua extensão.
 - enxergaria o espelho em toda sua extensão e também o raio de luz.
8. Analise o esquema abaixo, referente a um espelho plano.



A imagem do objeto que será vista pelo observador localiza-se no ponto

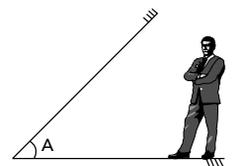
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
 - 5.
9. Uma pessoa de 1,8 m de altura está parada diante de um espelho plano apoiado no solo e preso em uma parede vertical. Como o espelho está mal posicionado, a pessoa não consegue ver a imagem de seu corpo inteiro, apesar de o espelho ser maior do que o mínimo necessário para isso. De seu corpo, ela enxerga apenas a imagem da parte compreendida entre seus pés e um detalhe de sua roupa, que está a 1,5 m do chão. Atrás dessa pessoa, há uma parede vertical AB, a 2,5 m do espelho.



Sabendo que a distância entre os olhos da pessoa e a imagem da parede AB refletida no espelho é 3,3 m e que seus olhos, o detalhe em sua roupa e seus pés estão sobre uma mesma vertical, calculando a distância d entre a pessoa e o espelho encontraremos o valor correto de

- 50 cm.
 - 60 cm.
 - 70 cm.
 - 80 cm.
 - 90 cm.
10. Um estudante, para analisar o fenômeno da reflexão da luz, realizou uma série de experiências nas quais fez um raio luminoso incidir em um espelho plano, medindo os ângulos de incidência i e de reflexão r em relação à direção normal ao espelho. Em seguida, construiu um gráfico do ângulo de reflexão em função do ângulo de incidência em uma mesma escala. O gráfico construído pelo estudante é, tomando como referência o eixo das abscissas, uma
- reta paralela.
 - reta inclinada a 45° .
 - curva exponencial crescente.
 - curva logarítmica.
 - curva senoidal.

11. Dois espelhos planos, sendo um deles mantido na horizontal, formam entre si um ângulo A . Uma pessoa observa-se por meio do espelho inclinado, mantendo seu olhar na posição horizontal.



Para que ela veja a imagem de seus olhos, e os raios retornem pela mesma trajetória que incidiram, após reflexão nos dois espelhos (com apenas uma reflexão no espelho horizontal), é necessário que o ângulo A seja de

- 15° .
- 30° .
- 45° .
- 60° .
- 75° .

12. Como funciona o foco automático das câmeras fotográficas?

Serviço completo

Máquinas automáticas usam dois sistemas diferentes de focalização



1A A câmera emite uma onda de luz infravermelha que é refletida pelo objeto focalizado e captada de volta, indicando sua distância.

2A Conhecendo a distância do objeto, a câmera ajusta o foco correto por meio de um motor.

1B Os raios de luz que atingem a câmera se dividem em dois. Cada um deles atinge uma parte do sensor.

2B O sensor transmite os dados da luz a um microprocessador que calcula a distância e faz o motor ajustar o foco.

Existem basicamente dois sistemas. O primeiro é o usado por câmeras do tipo *reflex*. Apertando levemente o botão disparador, alguns feixes de luz entram na máquina e, depois de rebatidos, atingem um sensor. Este envia as informações para um microprocessador dentro da máquina, que calcula a distância e ajusta o foco por meio de um pequeno motor que regula a lente na posição adequada. O segundo sistema é aquele que envia raios de luz infravermelha, usado em geral por máquinas compactas, totalmente automáticas. Na frente do corpo da câmera, há um dispositivo que emite os raios. Eles batem no objeto focalizado e voltam para o sensor localizado logo abaixo do emissor infravermelho [...] então a máquina calcula a distância do objeto e ajusta o foco.

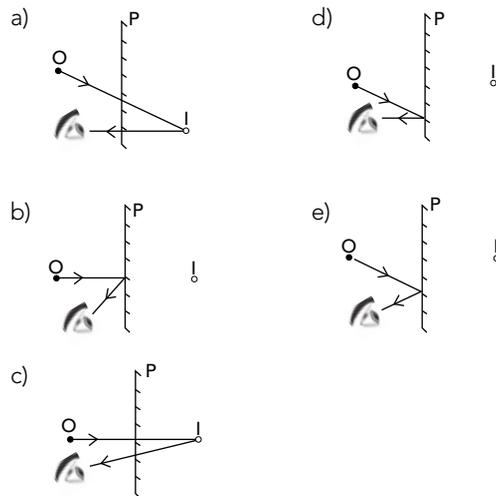
Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br>>. (adaptado)

Em um processo de focalização, realizado por uma câmera como a citada no texto, uma onda de luz infravermelha é captada de volta após $5 \cdot 10^{-7}$ s de sua emissão, como ilustrado na figura anterior. Nessas condições, sabendo que a velocidade da onda de luz infravermelha vale $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, assinale a afirmativa que indica, respectivamente, a distância do objeto à câmera e o fenômeno óptico indispensável no correto funcionamento do mecanismo de focalização do segundo sistema citado no texto.

- a) 75 m – refração da luz.
 - b) 75 m – reflexão da luz.
 - c) 150 m – refração da luz.
 - d) 150 m – reflexão da luz.
 - e) Indeterminada – absorção.
- 13.** Uma criança aproxima-se de um espelho plano com velocidade de módulo v , na direção da normal ao espelho. Pode-se afirmar que sua imagem
- a) afasta-se do espelho com velocidade de módulo v .
 - b) aproxima-se do espelho com velocidade de módulo v .
 - c) afasta-se do espelho com velocidade de módulo $2v$.
 - d) aproxima-se do espelho com velocidade de módulo $2v$.
 - e) afasta-se do espelho com velocidade de módulo $\frac{v}{2}$.
- 14.** Uma criança corre em direção a um espelho vertical plano, com velocidade constante de 4,0 m/s. Qual a velocidade da criança, em m/s, em relação a sua imagem?
- a) 1,0 b) 2,0 c) 4,0 d) 6,0 e) 8,0

- 15.** Um lustre com 4 lâmpadas está suspenso no teto, próximo à parede de uma sala. O teto e a parede são espelhos planos. Uma pessoa, olhando para esse diedro reto, verá, no total, quantos lustres e quantas lâmpadas?
- a) 2 lustres e 4 lâmpadas.
 - b) 16 lustres e 4 lâmpadas.
 - c) 4 lustres e 16 lâmpadas.
 - d) 3 lustres e 12 lâmpadas.
 - e) 5 lustres e 20 lâmpadas.

16. Nos diagramas a seguir, O representa um pequeno objeto luminoso que está colocado diante de um espelho plano P, perpendicular à página, ambos imersos no ar; I representa a imagem do objeto formada pelo espelho, e o olho representa a posição de quem observa a imagem. Qual dos diagramas representa corretamente a posição da imagem e o traçado dos raios que chegam ao observador?



- 17.** Com 3 patinadores, colocados entre 2 espelhos planos fixos, um diretor de cinema consegue uma cena em que são vistos, no máximo, 36 patinadores. Desta forma, o ângulo α entre os espelhos, considerando-se $\frac{360^\circ}{\alpha}$ um número inteiro, é de
- a) 20°.
 - b) 30°.
 - c) 36°.
 - d) 45°.
 - e) 60°.

18. Uma criança segura uma bandeira do Brasil, como ilustrado na figura 1. A criança está diante de dois espelhos planos verticais A e B, que fazem entre si um ângulo de 60° . A figura 2 indica seis posições, 1, 2, 3, 4, 5 e 6, relativas aos espelhos. A criança se encontra na posição 1 e pode ver suas imagens nas posições 2, 3, 4, 5 e 6.



Figura 1

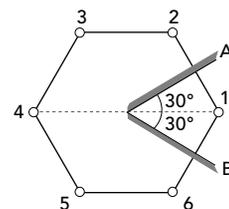


Figura 2

Em quais das cinco imagens a criança pode ver os dizeres "ORDEM E PROGRESSO"?

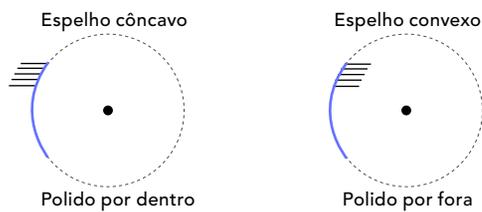
- a) Somente em 3 e 6.
- b) Somente em 1 e 2.
- c) Somente em 3 e 5.
- d) Somente em 2 e 4.
- e) Somente em 1, 2 e 6.

Espelhos esféricos

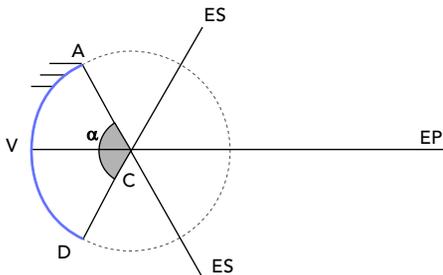
Espelho esférico é qualquer superfície lisa, de formato esférico, que reflete especularmente a luz em uma das superfícies. As imagens conjugadas nesse tipo de espelho são diferentes daquelas formadas nos espelhos planos, ou seja, podem aparecer ampliadas ou reduzidas, direitas ou invertidas em relação ao objeto.

Existem dois tipos de espelho esférico:

- **Côncavo** – A superfície refletora é a interna.
- **Convexo** – A superfície refletora é a externa.



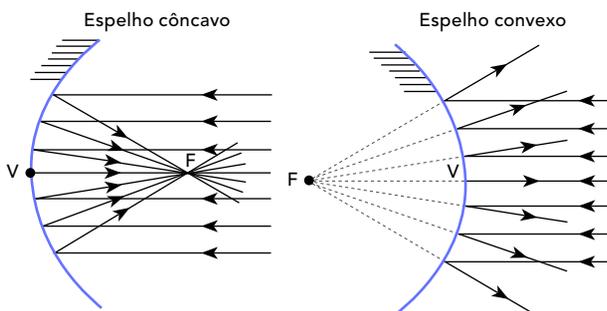
Elementos de um espelho esférico



- **C**: centro de curvatura do espelho;
- **V**: vértice do espelho;
- **CV**: raio de curvatura;
- **EP**: eixo principal;
- **ES**: eixo secundário;
- **ACD**: abertura do espelho (serão obedecidas as condições de Gauss: espelhos com abertura menor que 10° e raios incidentes próximos ao eixo principal).

Foco da imagem de um espelho esférico

É o ponto de encontro dos raios refletidos ou de seus prolongamentos.



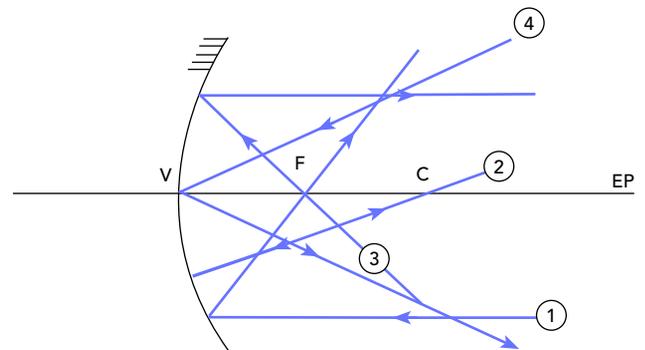
- O foco do espelho côncavo é real (espelho convergente); e do convexo, virtual (espelho divergente).
- A distância entre o foco e o vértice do espelho é chamada **distância focal (f)** – Nos espelhos de Gauss, considera-se-se $f = \frac{R}{2}$, onde R é o raio de curvatura.

Raios notáveis

Os raios notáveis não são os únicos que ocorrem em um sistema óptico, mas, como o próprio nome diz, eles se destacam dos outros pela facilidade de traçá-los. O objetivo aqui será desenhar pelo menos dois deles em cada situação.

Estes raios podem ser identificados das seguintes maneiras:

- Todo raio paralelo ao eixo principal de um espelho esférico reflete-se passando pelo foco ①.
- Todo raio que passa pelo centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo ②.
- Todo raio que passa pelo foco reflete-se paralelamente ao eixo principal ③.
- Todo raio que atinge o vértice, formando certo ângulo com o eixo principal, reflete-se formando ângulo igual ④.



Condições de nitidez de Gauss

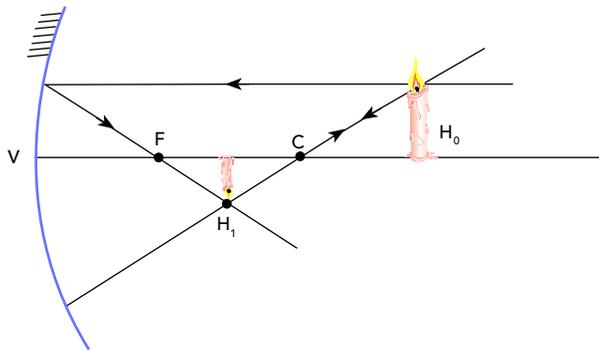
- Os raios de luz devem ser pouco inclinados em relação ao eixo óptico principal.
 - Os raios de luz devem incidir próximos ao vértice do espelho.
- A partir de agora, serão considerados apenas os espelhos esféricos de Gauss.

Construção da imagem fornecida por um espelho esférico

Construção da imagem de um objeto extenso

1º caso

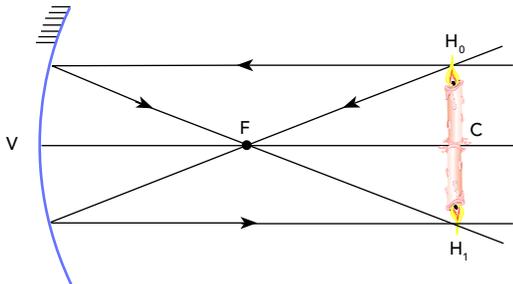
Espelho côncavo com o objeto disposto além de C.



Características da imagem: real, invertida e menor que o objeto.

2º caso

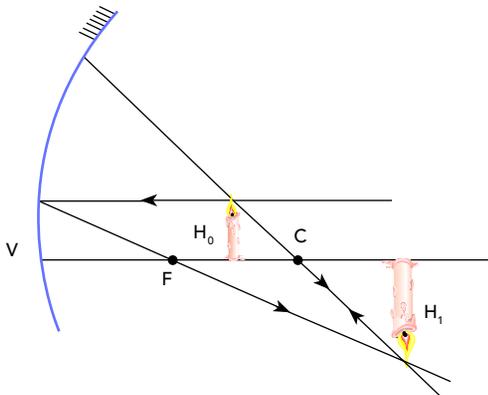
Espelho côncavo com o objeto postado sobre o centro C.



Características da imagem: real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

3º caso

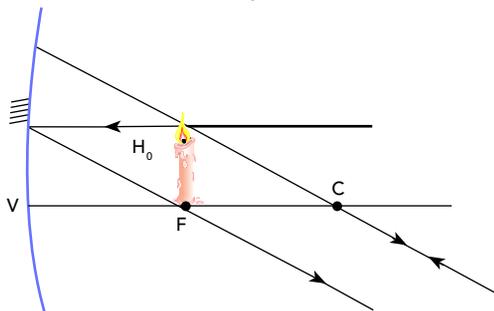
Espelho côncavo com o objeto colocado entre F e C.



Características da imagem: real, invertida e maior que o objeto.

4º caso

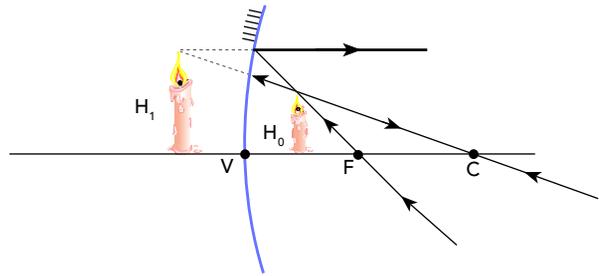
Espelho côncavo com o objeto colocado sobre o foco F.



Neste caso, não haverá formação de imagem (imagem imprópria).

5º caso

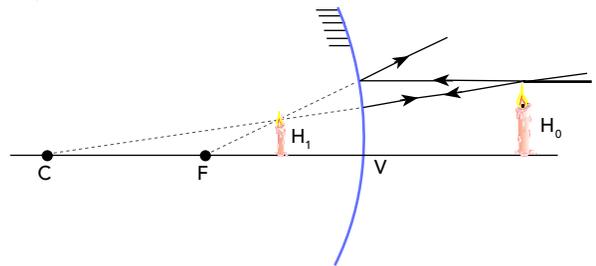
Espelho côncavo com o objeto colocado entre o vértice V e o foco F.



Características da imagem: virtual, direita e maior.

6º caso

Espelho convexo.



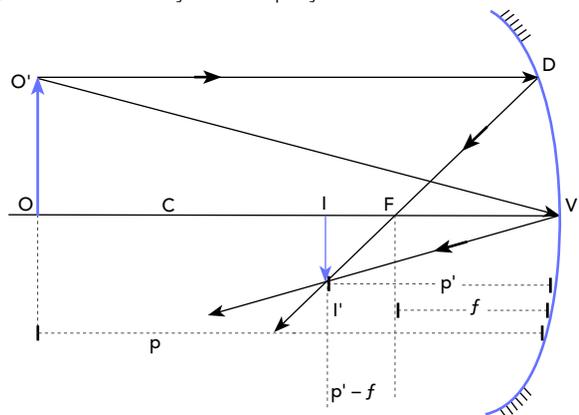
No espelho convexo, a imagem de um objeto real tem sempre as mesmas características, é sempre virtual, direita e menor que o objeto.

Determinação analítica da imagem

Neste tópico final do estudo dos espelhos esféricos, serão apresentadas, de forma matemática, algumas expressões que permitem determinar a posição e o tamanho da imagem.

Equação conjugada de Gauss

Embora não seja de grande relevância para a resolução das questões, conhecer a demonstração é de grande valia para quem gosta de saber a origem das fórmulas. Observe a seguir a demonstração da equação de Gauss:



Construção da imagem fornecida por um espelho esférico côncavo.

Da figura:

- $OV = p$: distância do objeto ao vértice do espelho;
- $IV = p'$: distância da imagem ao vértice do espelho;
- $FV = f$: distância focal;
- $IF = p' - f$;
- OO' : tamanho do objeto;
- II' : tamanho da imagem.

Olhando para a figura anterior, nota-se que os triângulos $O'OV$ e $I'IV$ são semelhantes porque possuem dois ângulos iguais. Como são semelhantes, seus lados são proporcionais:

$$\frac{II'}{OO'} = \frac{p'}{p} \quad (I)$$

Adotando-se os sinais do referencial de Gauss, tem-se:

$$A = -\frac{II'}{OO'} = -\frac{p'}{p}$$

Nas condições de nitidez de Gauss, que são válidas para espelhos de pequena abertura (6°), a parte curva DV do espelho se aproxima de uma superfície plana:

$$OO' = DV$$

Os triângulos FII' e FVD são semelhantes porque possuem ângulos opostos pelo vértice iguais e ângulos que são retos. Da semelhança dos triângulos, conclui-se que seus lados são proporcionais:

$$\frac{II'}{OO'} = \frac{p'-f}{f} \quad (II)$$

Comparando a equação (II) com a equação (I), obtém-se:

$$\frac{p'-f}{f} = \frac{p'}{p}$$

$$pp' - pf = p'f$$

Dividindo os dois membros por $(pp'f)$, obtém-se:

$$\frac{pp'}{pp'f} - \frac{pf}{pp'f} = \frac{fp'}{pp'f}$$

Resultando na equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Um espelho plano é um espelho esférico de raio de curvatura infinita, ou seja, se $R \cong \infty \Rightarrow f \cong \infty \Rightarrow \frac{1}{\infty} \cong 0$. Dessa forma, a equação de Gauss se resume a: $\frac{1}{p} = -\frac{1}{p'} \Rightarrow p = -p'$, o que justifica a natureza da imagem e do objeto serem contrárias.

Em resumo:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

A distância focal é dada por:

$$f = \frac{R}{2}$$

Aumento linear transversal

Por definição, o aumento linear transversal A é a razão entre a altura da imagem i e a altura do objeto o .

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

Referencial gaussiano – Regras dos sinais

Objeto	Real: $p > 0$	Virtual: $p < 0$
Imagem	Real: $p' > 0$	Virtual: $p' < 0$
Espelho	Côncavo $R > 0$ e $f > 0$	Convexo $R < 0$ e $f < 0$
Altura da imagem para $o > 0$	Direita $i > 0$	Invertida $i < 0$

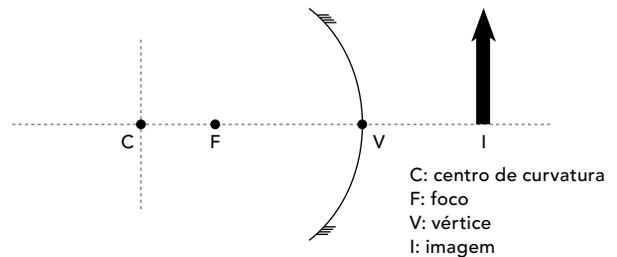
Pode-se, ainda, fazer uma mescla das duas relações descritas anteriormente, chegando-se à relação:

$$A = \frac{f}{f-p}$$

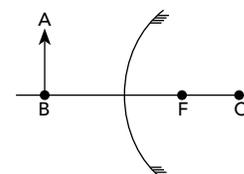


Atividades para sala

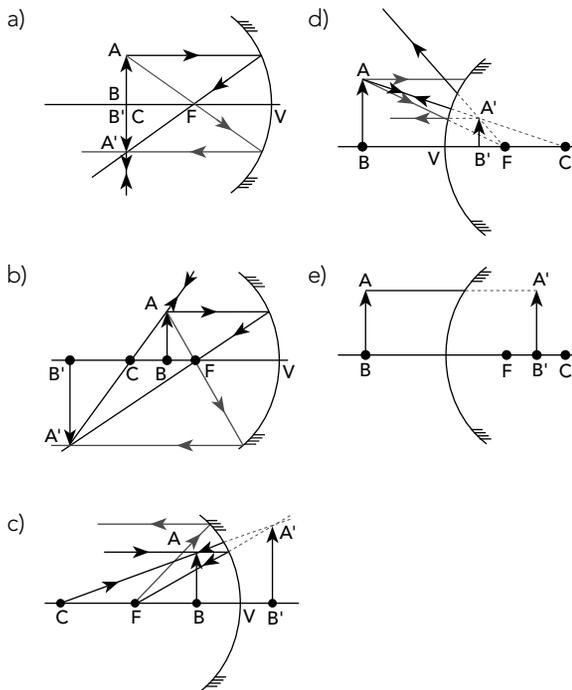
- Uma garota encontra-se diante de um espelho esférico côncavo e observa que a imagem direita de seu rosto é ampliada duas vezes. O rosto da garota só pode estar
 - entre o centro de curvatura e o foco do espelho côncavo.
 - sobre o centro de curvatura do espelho côncavo.
 - entre o foco e o vértice do espelho côncavo.
 - sobre o foco do espelho côncavo.
 - antes do centro de curvatura do espelho côncavo.
- Espelhos esféricos côncavos são comumente utilizados por dentistas porque, dependendo da posição relativa entre objeto e imagem, eles permitem visualizar detalhes precisos dos dentes do paciente. Na figura abaixo, pode-se observar esquematicamente a imagem formada por um espelho côncavo. Fazendo uso de raios notáveis, podemos dizer que a flecha que representa o objeto



- se encontra entre F e V e aponta no mesmo sentido da imagem.
 - se encontra entre F e C e aponta no mesmo sentido da imagem.
 - se encontra entre F e V e aponta no sentido oposto ao da imagem.
 - se encontra entre F e C e aponta no sentido oposto ao da imagem.
 - se encontra sobre F e aponta no mesmo sentido da imagem.
- Considere a figura a seguir.



Com base no esquema da figura, assinale a alternativa que representa corretamente o gráfico da imagem do objeto AB, colocado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho esférico convexo.



4. (ENEM) Os espelhos retrovisores, que deveriam auxiliar os motoristas na hora de estacionar ou mudar de pista, muitas vezes causam problemas. É que o espelho retrovisor do lado direito, em alguns modelos, distorce a imagem, dando a impressão de que o veículo está a uma distância maior do que a real. Esse tipo de espelho, chamado convexo, é utilizado com o objetivo de ampliar o campo visual do motorista, já que no Brasil se adota a direção do lado esquerdo e, assim, o espelho da direita fica muito mais distante dos olhos do condutor.

Disponível em: <<http://www.noticias.vrum.com.br>>. Acesso em: 3 nov. 2010. (adaptado)

Sabe-se que, em um espelho convexo, a imagem formada está mais próxima do espelho do que este está do objeto, o que parece entrar em conflito com a informação apresentada na reportagem. Essa aparente contradição é explicada pelo fato de

- a) a imagem projetada na retina do motorista ser menor do que o objeto.
- b) a velocidade do automóvel afetar a percepção da distância.
- c) o cérebro humano interpretar como distante uma imagem pequena.
- d) o espelho convexo ser capaz de aumentar o campo visual do motorista.
- e) o motorista perceber a luz vinda do espelho com a parte lateral do olho.

5. A obra de Escher, *Autorretrato em esfera espelhada*, apresentada a seguir, é muitas vezes utilizada para ilustrar propriedades dos espelhos esféricos. Observe a imagem, preencha as lacunas e, em seguida, marque a alternativa correta.



Autorretrato em esfera espelhada, de Maurits Escher.

A imagem na esfera espelhada é _____; nesse caso, os raios que incidem no espelho paralelamente ao eixo principal são _____ em uma direção que passa pelo _____ principal, afastando-se do _____ principal do espelho.

- a) virtual – refletidos – foco – eixo
- b) real – refratados – eixo – foco
- c) virtual – refletidos – eixo – eixo
- d) real – refletidos – eixo – foco
- e) virtual – refratados – foco – foco

6. Um palito de fósforo, de 8 cm de comprimento, é colocado a 80 cm de distância de um espelho esférico convexo sobre o eixo principal, perpendicularmente a este. A imagem do palito possui comprimento de 1,6 cm e a mesma orientação deste. Pode-se concluir que o valor absoluto da distância focal do espelho vale

- a) 10 cm.
- b) 20 cm.
- c) 30 cm.
- d) 40 cm.
- e) 50 cm.



Atividades propostas

1. Um salão de beleza projeta instalar um espelho que aumenta 1,5 vezes o tamanho de uma pessoa posicionada em frente a ele. Para o aumento ser possível e a imagem se apresentar direita (direta), a pessoa deve se posicionar, em relação ao espelho,
 - a) antes do centro de curvatura.
 - b) no centro de curvatura.
 - c) entre o centro de curvatura e o foco.
 - d) no foco.
 - e) entre o foco e o vértice do espelho.
2. O uso de espelhos retrovisores externos convexos em automóveis é uma determinação de segurança do governo americano desde 1970, porque
 - a) a imagem aparece mais longe que o objeto real, com um aumento do campo visual, em relação ao de um espelho plano.
 - b) a distância da imagem é a mesma que a do objeto real em relação ao espelho, com aumento do campo visual, em relação ao de um espelho plano.

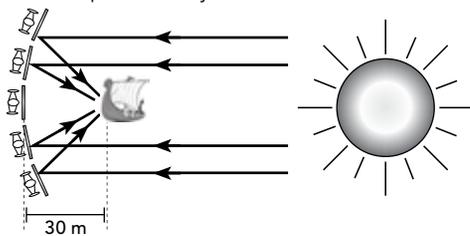
- c) a imagem aparece mais perto que o objeto real, com um aumento do campo visual, em relação ao de um espelho plano.
- d) a imagem aparece mais longe que o objeto real, com uma redução do campo visual, em relação ao de um espelho plano.
- e) a distância da imagem é maior que a do objeto real em relação ao espelho, sem alteração do campo visual, quando comparado ao de um espelho plano.

3. Muitos profissionais precisam de espelhos em seu trabalho. Porteiros, por exemplo, necessitam de espelhos que lhes permitam ter um campo visual maior, ao passo que dentistas utilizam espelhos que lhes fornecem imagens com maior riqueza de detalhes.

Os espelhos mais adequados para esses profissionais são, respectivamente, espelhos

- a) planos e côncavos.
- b) planos e convexos.
- c) côncavos e convexos.
- d) convexos e côncavos.
- e) convexos e planos.

4. Uma das primeiras aplicações militares da Óptica ocorreu no século III a.C., quando Siracusa estava sitiada pelas forças navais romanas. Na véspera da batalha, Arquimedes ordenou que 60 soldados polissem seus escudos retangulares de bronze, medindo 0,5 m de largura por 1,0 m de altura. Quando o primeiro navio romano se encontrava a aproximadamente 30 m da praia para atacar, à luz do Sol nascente, foi dada a ordem para que os soldados se colocassem formando um arco e empunhassem seus escudos, como representado esquematicamente na figura a seguir. Em poucos minutos, as velas do navio estavam ardendo em chamas. Isso foi repetido para cada navio, e, assim, não foi dessa vez que Siracusa caiu. Uma forma de se entender o que ocorreu consiste em tratar o conjunto de escudos como um espelho côncavo. Suponha que os raios do Sol cheguem paralelos ao espelho e sejam focalizados na vela do navio.



Qual deve ser o raio do espelho côncavo para que a intensidade do Sol concentrado seja máxima?

- a) 7,5 m
- b) 10 m
- c) 15 m
- d) 30 m
- e) 60 m

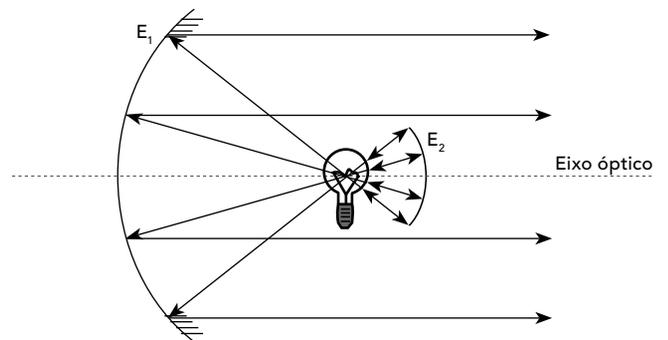
5. A figura mostra uma superfície refletora de formato parabólico, que tem sido utilizada como um fogão solar. Esse dispositivo é montado de tal forma que a superfície fique posicionada sempre voltada para o Sol. Neste, a panela deve ser colocada em um ponto determinado para maior eficiência do fogão.



Considerando que a panela esteja posicionada no ponto citado, a maior eficiência ocorre porque os raios solares

- a) refletidos passam por esse ponto, definido como ponto de reflexão.
- b) incidentes passam por esse ponto, definido como vértice da parábola.
- c) refletidos se concentram nesse ponto, definido como foco da parábola.
- d) incidentes se concentram nesse ponto, definido como ponto de incidência.
- e) incidentes e refletidos se interceptam nesse ponto, definido como centro de curvatura.

6. Por motivos de segurança, a eficiência dos faróis tem sido objeto de pesquisa da indústria automobilística. Em alguns automóveis, são adotados faróis cujo sistema óptico é formado por dois espelhos esféricos, E_1 e E_2 , como mostra a figura. Com base na figura, é correto afirmar que a localização da lâmpada está



- a) nos focos de E_1 e de E_2 .
- b) no centro de curvatura de E_1 e no foco de E_2 .
- c) nos centros de curvatura de E_1 e de E_2 .
- d) no foco de E_1 e no centro de curvatura de E_2 .
- e) em qualquer ponto entre E_1 e E_2 .

7. Um lápis com altura de 20 cm é colocado na posição vertical a 50 cm do vértice de um espelho côncavo. A imagem conjugada pelo espelho é real e mede 5 cm. Calcule a distância, em centímetros, da imagem ao espelho.

- a) 0,5 cm
- b) 5 cm
- c) 7,5 cm
- d) 12,5 cm
- e) 15 cm

8. Suponha que você é estagiário de uma estação de televisão e deve providenciar um espelho que amplie a imagem do rosto dos artistas para que eles próprios possam retocar a maquiagem. A penteadeira limita a aproximação do rosto do artista ao espelho a, no máximo, 15 cm. Dos espelhos a seguir, o único indicado para essa finalidade seria um espelho esférico

- a) côncavo, de raio de curvatura 5,0 cm.
- b) convexo, de raio de curvatura 10 cm.
- c) convexo, de raio de curvatura 15 cm.
- d) convexo, de raio de curvatura 20 cm.
- e) côncavo, de raio de curvatura 40 cm.

9. Uma pessoa encontra-se de pé a uma distância de 10 cm de um espelho esférico. Essa pessoa vê, no espelho, sua imagem direita e aumentada em 5 vezes. Com os dados anteriores, pode-se dizer que a distância focal do espelho vale

- a) 12,5 cm.
- b) 10 cm.
- c) 20 cm.
- d) 30,5 cm.
- e) 25,5 cm.

10. Observe o adesivo plástico apresentado no espelho côncavo de raio de curvatura igual a 1,0 m, na figura 1. Essa informação indica que o espelho produz imagens nítidas com dimensões até cinco vezes maiores do que as de um objeto colocado diante dele.



Figura 1

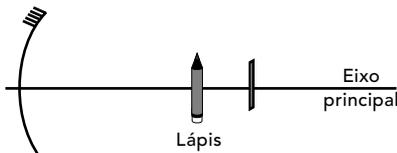


Figura 2

Considerando válidas as condições de nitidez de Gauss para esse espelho, calcule o aumento linear conseguido quando o lápis estiver a 10 cm do vértice do espelho, perpendicularmente ao seu eixo principal, e a distância em que o lápis deveria estar do vértice do espelho para que sua imagem fosse direita e ampliada cinco vezes.

- a) 1,25 e 20 cm. c) 1,25 e 40 cm. e) 2,5 e 40 cm.
 b) 1,25 e 30 cm. d) 2,5 e 20 cm.

11. Um objeto de 6 cm de altura é colocado perpendicularmente ao eixo principal e a 24 cm do vértice de um espelho esférico côncavo, de raio de curvatura 36 cm. Baseado em seus conhecimentos sobre Óptica Geométrica, a altura e a natureza da imagem são, respectivamente,

- a) 2 cm, virtual e direita.
 b) 12 cm, real e invertida.
 c) 18 cm, virtual e direita.
 d) 18 cm, real e invertida.
 e) 2 cm, virtual e invertida.

12. Um espelho esférico côncavo, que obedece às condições de Gauss, fornece, de um objeto colocado a 2 cm de seu vértice, uma imagem virtual situada a 4 cm deste. Se utilizarmos esse espelho como refletor do farol de um carro, no qual os raios luminosos refletidos são paralelos, a distância entre o filamento da lâmpada e o vértice do espelho deve ser igual a

- a) 2 cm.
 b) 4 cm.
 c) 6 cm.
 d) 8 cm.
 e) 10 cm.

Oscilações, ondas,
óptica e radiação

Módulo

3

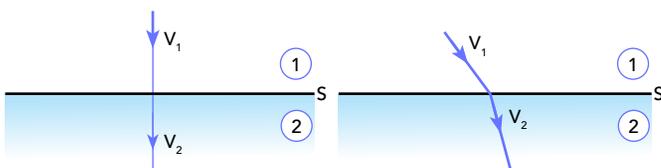
Introdução ao estudo da refração da luz; Reflexão total; Prismas

Refração da luz

No início do estudo de Óptica Geométrica, foi visto que alguns fenômenos norteariam os estudos. Em aulas anteriores, foram estudados os efeitos da reflexão da luz na formação de imagens nos espelhos planos e esféricos, e agora será iniciado o estudo da refração da luz e suas aplicações. A luz, com seu comportamento ondulatório, tem velocidade que assume valores diversos em diferentes meios de propagação, como o vácuo, o ar, a água, o vidro etc.

Chama-se de **refração** o fenômeno da passagem da luz de um meio para outro. É importante destacar a **modificação obrigatória na sua velocidade de propagação**.

Em geral, a refração é acompanhada por um desvio na trajetória da luz, consequência da mudança de velocidade. Porém, há um caso de refração no qual a luz não sofre desvio. Ele ocorre quando o raio luminoso incide perpendicularmente à superfície S de separação dos meios.



Índice de refração absoluto

Define-se índice de refração absoluto de um meio como a razão entre a velocidade de propagação da luz no vácuo e a velocidade de propagação no meio analisado. Matematicamente, tem-se:

$$n = \frac{c}{v}$$

Sendo **c** a velocidade de propagação da luz no vácuo ($c \cong 300\,000 \text{ km/s}$ ou $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) e **v** a velocidade de propagação da luz no meio analisado.

O índice de refração absoluto é também chamado de **refringência**. Diz-se que o meio que possui maior índice de refração em relação ao outro é mais refringente, e o que possui menor índice de refração é menos refringente. Como se sabe, a velocidade de propagação da luz no vácuo (**c**) é o valor de referência e, dessa forma:

$$c \geq v \rightarrow n \geq 1 \text{ (pois se trata de uma fração imprópria)}$$

Para o ar, será adotado o mesmo valor do índice do vácuo, ou seja, 1; essa ação serve para facilitar os cálculos.

Tome nota

- No vácuo, todas as luzes, de qualquer cor, possuem a mesma velocidade de propagação.
- O índice de refração (**n**) é uma grandeza adimensional (sem unidade), pois associa duas grandezas dimensionalmente iguais.

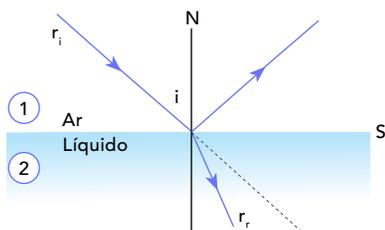
Leis da refração

Primeira Lei – Lei da associação entre os raios e a normal

Na refração, o raio incidente, a reta normal de referência e o raio refratado serão sempre coplanares, ou seja, pertencem ao mesmo plano.

Segunda Lei – Lei de Snell-Descartes

Ao incidir na superfície de separação (dióptro) dos meios 1 e 2, parte do feixe de luz é refletida e parte é refratada.



O produto do seno do ângulo de incidência pelo valor do índice de refração do meio em que se propaga o raio incidente (n_1) é igual ao produto do seno do ângulo de refração pelo índice de refração do meio no qual se propaga o raio refratado (n_2).

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$$

Tome nota

- Passando a luz de um meio menos refringente para outro mais refringente, o raio refratado aproxima-se da normal, se incidir obliquamente.
- Passando a luz de um meio mais refringente para outro menos refringente, o raio sofre um desvio, afastando-se da normal, se incidir obliquamente.

Em resumo, é possível guardar as seguintes relações que existem entre as grandezas envolvidas no estudo da refração utilizando o conceito de proporção. É importante salientar que elas são válidas também no estudo da ondulatória. Por esse motivo, inclui-se a grandeza λ (comprimento de onda).

Não esqueça: $v = \lambda \cdot f$, e como f não muda na refração (se não mudar a fonte), v é diretamente proporcional a λ .

$$\uparrow n \quad \downarrow v \quad \downarrow \text{sen } \theta^* \quad \downarrow \lambda$$

*Essa relação só é válida se o raio incidir obliquamente.

Observando os conceitos de grandezas diretamente e inversamente proporcionais, tem-se:

$$\begin{aligned} n_1 v_1 &= n_2 v_2 \\ n_1 \text{sen } \theta_1 &= n_2 \text{sen } \theta_2 \\ n_1 \lambda_1 &= n_2 \lambda_2 \\ \frac{v_1}{\text{sen } \theta_1} &= \frac{v_2}{\text{sen } \theta_2} \\ \frac{v_1}{\lambda_1} &= \frac{v_2}{\lambda_2} \\ \frac{\text{sen } \theta_1}{\lambda_1} &= \frac{\text{sen } \theta_2}{\lambda_2} \end{aligned}$$

Como os ângulos analisados são agudos, diminuir ou aumentar o ângulo com a normal é o mesmo que diminuir ou aumentar o seno, visto que a função seno é crescente no primeiro quadrante.

Índice de refração relativo

Sendo n_A e n_B , respectivamente, os índices de refração absolutos dos meios A e B para uma determinada luz monocromática, define-se o índice de refração relativo do meio A

em relação ao meio B, $n_{A,B}$, como a razão entre os índices de refração absolutos dos meios A e B.

$$n_{A,B} = \frac{n_A}{n_B}$$

Outra associação que pode ser feita é com as velocidades de propagação da luz nesses meios. Como $n_A = \frac{c}{v_A}$ e $n_B = \frac{c}{v_B}$, tem-se:

$$n_{A,B} = \frac{\left(\frac{c}{v_A}\right)}{\left(\frac{c}{v_B}\right)}, \text{ relação que, após ser simplificada, resulta em:}$$

$$n_{A,B} = \frac{v_B}{v_A}$$

Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético representa o conjunto de todas as frequências conhecidas de ondas eletromagnéticas.

As frequências dentro da faixa visível do espectro eletromagnético correspondem às diferentes cores possíveis da luz. A luz de cor violeta corresponde à maior frequência, e a de cor vermelha corresponde à menor.

Pode-se obter luzes de outras cores combinando luzes de diferentes frequências. A essa combinação dá-se o nome de luz policromática. À luz de uma única frequência, dá-se o nome de monocromática.

A luz branca é policromática. De fato, quando a luz branca atravessa, por exemplo, um prisma de vidro, ela se decompõe nas cores que a formam.

Tome nota

A luz monocromática vermelha, a de menor frequência, é a que possui o menor índice de refração, ou seja, é a que sofre menor desvio em relação à trajetória original do raio de luz branca originário. A luz monocromática violeta é a de maior frequência, ou seja, é a de maior índice de refração e, por consequência, a mais próxima da reta normal de referência.

Leitura complementar

Texto 1



O arco-íris é um fenômeno óptico que se forma em razão da separação das cores que compõem a luz solar. Ele pode ser observado sempre que existirem gotículas de água suspensas na atmosfera e a luz solar estiver brilhando acima do observador em baixa altitude ou ângulo, ou seja, ele pode acontecer durante ou após uma chuva. Esse acontecimento ocorre em razão da dispersão da luz.

Dispersão é o fenômeno que causa a separação de uma onda em vários componentes espectrais.

A luz do Sol é uma onda de luz branca formada por várias cores. Quando essa luz incide sobre uma gota de água, os raios luminosos penetram nela e são refratados, sofrendo, assim, a dispersão. O feixe de luz colorido, dentro da gota, é refletido sobre sua superfície interna e sofre novo processo de refração, motivo que provoca a separação das cores que um observador consegue ver. É evidente que essa dispersão ocorre com todas as gotas de água que estiverem na superfície recebendo a luz proveniente do Sol.

O arco-íris não existe, trata-se de uma ilusão de óptica cuja visualização depende da posição relativa do observador. É importante salientar que todas as gotas de água refratam e refletem a luz da mesma forma, no entanto, apenas algumas cores resultantes desse processo é que são captadas pelos olhos do observador.

Marco Aurélio da Silva
Disponível em: <<http://www.brasilecola.com>>. (adaptado)

Texto 2

Como se formam as miragens?

O termo **miragem** vem da palavra francesa *mirage*, a qual deriva do verbo *mirer*, "mirar". A formação desse tipo de imagem é atribuída a um fenômeno óptico denominado **refração**. Quando um feixe de luz se propaga em um meio com diferentes índices de refração, ele sofre um desvio, alterando o caminho inicial do feixe. Esse desvio sofrido pelo feixe pode formar uma miragem.

Um dos casos mais comuns de miragens presentes em nosso dia a dia acontece quando, em um dia ensolarado, o asfalto fica quente, fazendo com que o ar que esteja próximo dele também permaneça em uma temperatura alta. Então, o índice de refração do ar fica menor nas proximidades do asfalto.

Dessa forma, quando um raio de luz se propagar, em direção ao chão, será desviado constantemente até chegar a superfície e, por final, será refletido para cima, dando a impressão de que o asfalto está molhado e de que a imagem do carro é refletida em uma poça de água. Esse tipo de imagem já foi muito explorado por produtores cinematográficos, já que é por esse mesmo princípio que acontece a formação de miragens nos desertos.

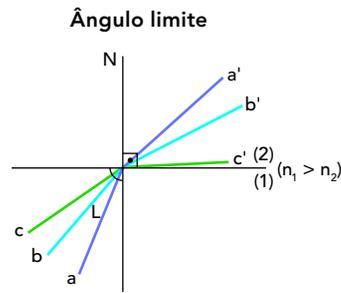
Muriel de Pauli
Disponível em: <<http://www.xpfep1.if.usp.br>>. (adaptado)

Reflexão total e prismas

Durante o estudo inicial de refração da luz, foi visto que, dependendo da relação entre os índices de refração e do ângulo de incidência, a luz poderá ou não sofrer desvio da sua direção de propagação. Também foi observado que, quando a luz incide, parte dela pode ser refletida; e outra, refratada. Porém, será mostrado a seguir um caso notável: a situação de reflexão total. Alguns conceitos prévios serão necessários para que esse fenômeno seja compreendido.

Ângulo limite (L)

Ângulo limite é o ângulo de incidência que corresponde a um ângulo de refração de 90°. Sendo o meio de origem (1) mais refringente que o meio de destino (2), um raio que incide obliquamente tende a se afastar da normal. À medida que o ângulo de incidência cresce, o de refração também cresce, porém em uma proporção bem maior. Na representação a seguir, o ângulo de incidência do raio **c** é o ângulo limite **c'** porque seu ângulo de refração vale 90°.



Reflexão total

Se um raio de luz incidir na superfície de separação de dois meios com ângulo maior que o ângulo limite, a superfície reflete o raio incidente, sem haver refração. Chama-se esse fenômeno de **reflexão total**.

No instante em que um raio de luz incide na superfície de separação formando o ângulo limite L com a reta normal de referência, o raio emergente sairá rasante, ou seja, emergirá formando um ângulo de 90° com a normal (situação **c**, no gráfico anterior) e que, aplicando a Lei de Snell, resultará na equação:

$$n_1 \cdot \text{sen } L = n_2 \cdot \text{sen } 90^\circ \Rightarrow n_1 \cdot \text{sen } L = n_2 \cdot 1 \Rightarrow \text{sen } L = \frac{n_2}{n_1}$$

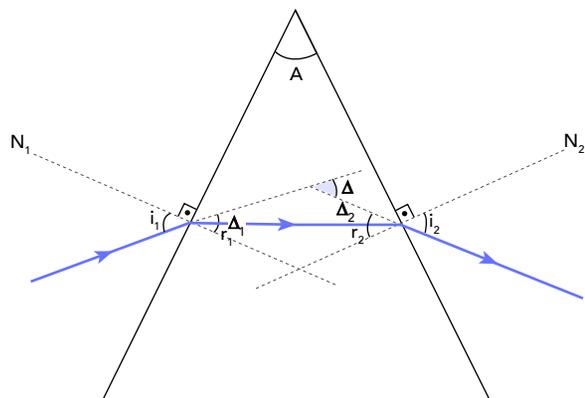
Em outras palavras, pode-se simplesmente escrever $\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$, afinal, o seno não pode assumir valores maiores que 1.

Prismas

O prisma óptico é constituído de um sistema de dupla refração que é aplicado em um número muito grande de sistemas ópticos. Trata-se de um arranjo no qual dois dioptros planos são associados de tal forma que as superfícies planas não são dispostas paralelamente entre si e formam um ângulo diferente de zero, também chamado de ângulo de refringência ou abertura do prisma e que será representado pela letra A.

Para trabalhar com prismas ópticos, é preciso fazer uso da **Lei de Snell**, uma das leis mais importantes da refração. Seguindo os passos da demonstração a seguir e utilizando alguns cálculos de geometria plana, será obtida a fórmula que calcula o desvio angular total (Δ) sofrido por um raio que incide em uma das faces do prisma com um ângulo de incidência (i_1) e refrata na face oposta com um ângulo de refração (i_2).

Demonstração da Lei de Snell



Pelo Teorema do Ângulo Externo, $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$. (I)

Pela propriedade dos ângulos opostos pelo vértice, tem-se:

$$i_1 = \Delta_1 + r_1 \Rightarrow \Delta_1 = i_1 - r_1 \text{ (II)}$$

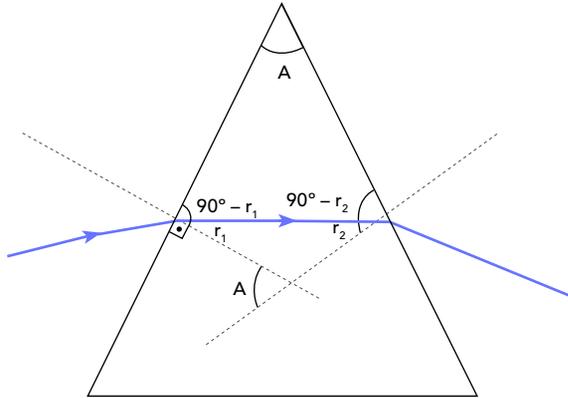
$$i_2 = \Delta_2 + r_2 \Rightarrow \Delta_2 = i_2 - r_2 \text{ (III)}$$

Substituindo (II) e (III) em (I), tem-se:

$$\Delta = i_1 - r_1 + i_2 - r_2$$

$$\Delta = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2) \text{ (IV)}$$

Agora, observe no prisma a seguir:



$$A + 90^\circ - r_1 + 90^\circ - r_2 = 180^\circ$$

$$A = r_1 + r_2 \text{ (V)}$$

Substituindo (V) em (IV), tem-se:

$$\Delta = i_1 + i_2 - A$$

Prismas de reflexão total

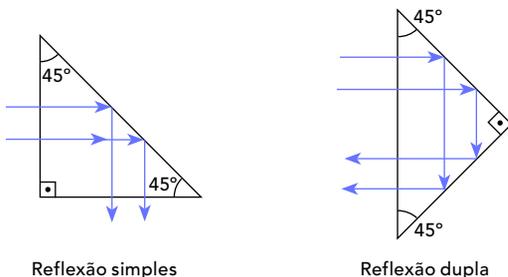
No interior de um prisma, a luz pode sofrer reflexão total. Isso ocorrerá embasado no que foi apresentado anteriormente na reflexão total, se o índice de refração do prisma for maior do que o índice do meio em que está imerso e se o ângulo de incidência da luz, na segunda face, for maior que o ângulo limite para essa situação.

Os prismas de reflexão total mais comuns e mais simples são aqueles cuja seção principal é um triângulo retângulo isósceles.

Nos prismas de reflexão total, a luz sofre internamente uma ou mais reflexões. Esses prismas são usados para ajustar imagens (prismas inversores) ou para mudar a direção dos raios de luz. Os instrumentos ópticos, como binóculos, telescópios, periscópios e outros, usam esse tipo de prisma.

A vantagem da utilização dos prismas de reflexão total em relação aos espelhos planos nos instrumentos ópticos é que os prismas proporcionam maior rendimento de reflexão do que os espelhos e possuem uma menor necessidade de manutenção.

Quando a luz se propaga no interior desses prismas, ela se reflete em uma das faces, pois o ângulo de incidência na segunda face é maior que o ângulo limite. As figuras a seguir mostram prismas de reflexão total.



Leitura complementar

O prisma de Newton



O fenômeno do arco-íris foi explicado por Isaac Newton, um dos físicos mais famosos de todos os tempos, que viveu na Inglaterra de 1642 a 1727.

O físico criou um arco-íris em um quarto escuro. Um pequeno buraco em um anteparo deixava passar um raio de Sol. No caminho dessa luz, Newton colocou um prisma de vidro transparente que refratava (mudava a direção) o raio de Sol por um ângulo, assim que penetrava no vidro, e depois novamente quando passava pela face mais distante para voltar ao ar. Quando a luz batia na parede do fundo do quarto, as 7 cores do espectro ficavam claramente evidentes.

Newton não foi o primeiro a criar um arco-íris artificial com um prisma, mas foi o primeiro a usá-lo para demonstrar que a luz branca é uma mistura de diferentes cores. O prisma as separa, inclinando-as por diferentes ângulos: o azul por um ângulo mais agudo que o vermelho; o verde, o amarelo e o laranja por ângulos intermediários.

O prisma separa um raio de luz branca nas diferentes cores do espectro. Algumas pessoas pensavam que o prisma mudava a qualidade da luz, dando cores a ela, em vez de separar as cores de uma mistura já existente. Newton decidiu a questão com dois experimentos nos quais a luz passava por um segundo prisma. Inicialmente, ele colocou, depois do primeiro prisma, uma fenda que deixava passar apenas uma pequena parte do espectro, digamos, a porção vermelha. Quando essa luz vermelha era novamente refratada por um segundo prisma, aparecia apenas luz vermelha. Isso demonstrava que a luz não é qualitativamente alterada por um prisma, apenas separada em componentes que estariam normalmente misturados. No outro experimento decisivo, Newton virou o segundo prisma de cabeça para baixo. As cores do espectro que haviam sido desdobradas pelo primeiro prisma voltaram a ser reunidas pelo segundo. O que apareceu foi a luz branca reconstituída.

A maneira mais fácil de compreender o espectro é pela teoria da luz como onda. O importante sobre as ondas é que nada realmente viaja todo o percurso da fonte ao destino. O movimento que se produz é local e em pequena escala. O movimento local desencadeia o movimento no próximo trecho, e assim por diante, ao longo de toda a linha, como a famosa *ola* (onda, em espanhol) dos estádios de futebol.

O que ocorre em um prisma de vidro ou em uma gota de chuva para dividir a luz branca em suas cores separadas? E por que os raios de luz são desviados pelo vidro e pela água? A mudança resulta de um retardamento da luz, enquanto ela se move do ar para dentro do vidro (ou da água). Ela acelera de novo quando sai do vidro.

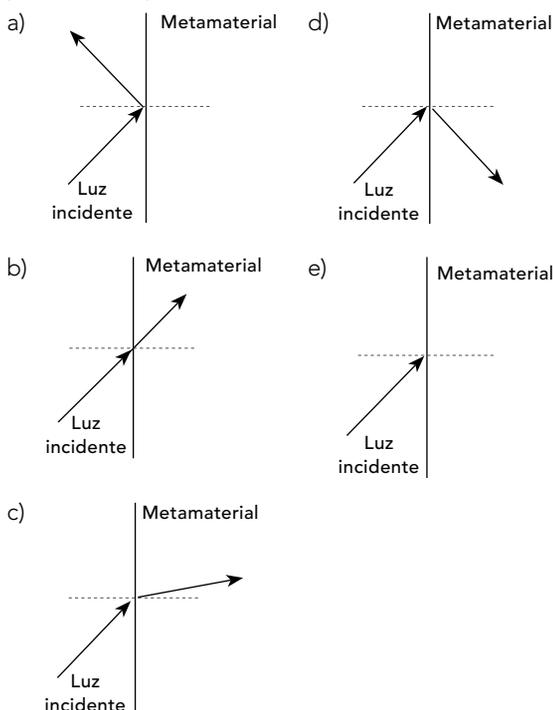
Disponível em: <<http://www.pucsp.br>>. (adaptado)



Atividades para sala

- (ENEM) Em um experimento, coloca-se glicerina dentro de um tubo de vidro liso. Em seguida, parte do tubo é colocada em um copo de vidro que contém glicerina, e a parte do tubo imersa fica invisível. Esse fenômeno ocorre porque a
 - intensidade da luz é praticamente constante no vidro.
 - parcela de luz refletida pelo vidro é praticamente nula.
 - luz que incide no copo não é transmitida para o tubo de vidro.
 - velocidade da luz é a mesma no vidro e na glicerina.
 - trajetória da luz é alterada quando ela passa da glicerina para o vidro.
- Um apontador *laser*, também conhecido como *laser pointer*, é direcionado não perpendicularmente para a superfície da água de um tanque, com o líquido em repouso. O raio de luz monocromático incide sobre a superfície, sendo parcialmente refletido e parcialmente refratado. Em relação ao raio incidente, o refratado muda
 - a frequência.
 - o índice de refração.
 - a velocidade de propagação.
 - a densidade.
 - a cor.
- (ENEM) Um grupo de cientistas liderado por pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), nos Estados Unidos, construiu o primeiro metamaterial que apresenta valor negativo do índice de refração relativo para a luz visível. Denomina-se metamaterial um material óptico artificial, tridimensional, formado por pequenas estruturas menores do que o comprimento de onda da luz, o que lhe dá propriedades e comportamentos que não são encontrados em materiais naturais. Esse material tem sido chamado de **canhoto**.
Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br>>. Acesso em: 28 abr. 2010. (adaptado)

Considerando o comportamento atípico desse metamaterial, qual é a figura que representa a refração da luz ao passar do ar para esse meio?



- Uma escova de dentes tem seu cabo feito de plástico azul, no qual estão presas cerdas de *nylon* incolor. As pontas das cerdas parecem azuis quando a escova é iluminada com a luz do dia. O fenômeno óptico principal responsável por essa coloração azul nas pontas das cerdas é denominado
 - interferência construtiva.
 - reflexão total.
 - difração.
 - interferência destrutiva.
 - polarização.
- (ENEM) Uma proposta de dispositivo capaz de indicar a qualidade da gasolina vendida em postos e, conseqüentemente, evitar fraudes, poderia utilizar o conceito de refração luminosa. Nesse sentido, a gasolina não adulterada, na temperatura ambiente, apresenta razão entre os senos dos raios incidente e refratado igual a 1,4. Desse modo, fazendo incidir o feixe de luz proveniente do ar com um ângulo fixo e maior que zero, qualquer modificação no ângulo do feixe refratado indicará adulteração no combustível.
Em uma fiscalização rotineira, o teste apresentou o valor de 1,9. Qual foi o comportamento do raio refratado?
 - Mudou de sentido.
 - Sofreu reflexão total.
 - Atingiu o valor do ângulo limite.
 - Direcionou-se para a superfície de separação.
 - Aproximou-se da normal à superfície de separação.
- (ENEM) As miragens existem e podem induzir à percepção de que há água onde não existe. Elas são a manifestação de um fenômeno óptico que ocorre na atmosfera.

Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br>>. Acesso em: 29 fev. 2012.

Esse fenômeno óptico é consequência da

- refração da luz nas camadas de ar próximas do chão quente.
- reflexão da luz ao incidir no solo quente.
- reflexão difusa da luz na superfície rugosa.
- dispersão da luz nas camadas de ar próximas do chão quente.
- difração da luz nas camadas de ar próximas do chão quente.



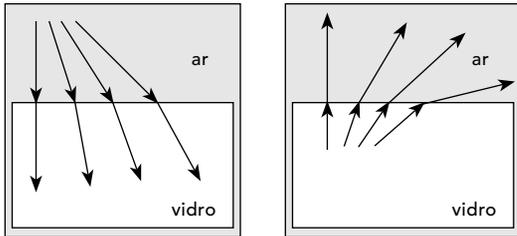
Atividades propostas

- Uma luz monocromática verde e uma luz monocromática violeta propagam-se em um tipo de vidro com velocidades de $1,970 \cdot 10^8$ m/s e $1,960 \cdot 10^8$ m/s, respectivamente. Considerando que a velocidade da luz no vácuo é de $3,0 \cdot 10^8$ m/s, a relação entre o índice de refração do vidro para a luz verde (n_A) e o índice de refração do vidro para a luz violeta (n_B) será
 - $n_A = n_B$.
 - $n_A \leq n_B$.
 - $n_A < n_B$.
 - $n_A \geq n_B$.
 - $n_A > n_B$.
- Ao ser emitida por uma fonte, uma luz monocromática, cujo comprimento de onda no ar é λ_0 , incide no olho de uma pessoa. A luz faz o seguinte percurso até atingir a retina: ar – córnea – humor aquoso – cristalino – humor vítreo.

Considerando que o índice de refração do ar é $n_0 = 1,00$; da córnea é $n_1 = 1,38$; do humor aquoso é $n_2 = 1,33$; do cristalino é $n_3 = 1,40$; e do humor vítreo é $n_4 = 1,34$ e que $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ e λ_4 são os comprimentos de onda da luz na córnea, no humor aquoso, no cristalino e no humor vítreo, respectivamente, assinale a alternativa correta.

- a) $\lambda_1 < \lambda_0$
- b) $\lambda_2 < \lambda_1$
- c) $\lambda_3 > \lambda_2$
- d) $\lambda_4 < \lambda_3$
- e) $\lambda_4 > \lambda_0$

3. Os esquemas apresentados mostram o que acontece quando um raio de luz monocromática, que se propaga no ar, atravessa uma superfície plana de vidro, e quando ele passa de uma superfície plana de vidro para o ar.



O desvio na direção original da trajetória de um raio luminoso, quando transmitido de um meio para outro, é causado pelo fenômeno da

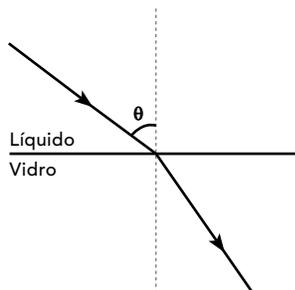
- a) polarização.
- b) difração.
- c) refração.
- d) dispersão.
- e) interferência.

4. A tabela mostra os índices de refração absolutos de diversos líquidos e tipos de vidro para a luz amarela do sódio.

Líquido	Índice de refração	Vidro	Índice de refração
Água	1,33	Crown	1,52
Etanol	1,36	Flint leve	1,58
Glicerina	1,47	Flint médio	1,62
Benzeno	1,50	Flint denso	1,66

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física IV: Ótica e Física moderna. 2008. (adaptado)

Considere que um raio de luz amarela propaga-se inicialmente em um dos líquidos indicados na tabela e passa a se propagar em um dos vidros, também indicados na tabela.



O maior ângulo de refração que o raio de luz forma com a normal ao penetrar no vidro, após nele incidir com um dado ângulo θ , tal que $0^\circ < \theta < 90^\circ$, ocorre quando os meios são

- a) glicerina e vidro flint leve.
- b) água e vidro crown.
- c) água e vidro flint denso.
- d) etanol e vidro flint médio.
- e) benzeno e vidro crown.

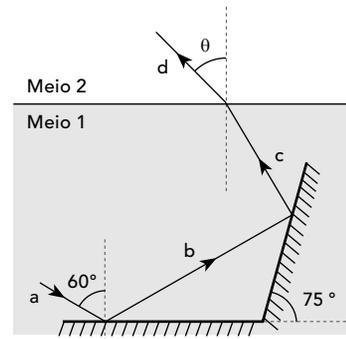
5. A tabela a seguir mostra o valor aproximado dos índices de refração de alguns meios, medidos em condições normais de temperatura e pressão, para um feixe de luz incidente com comprimento de onda de 600 nm.

Material	Índice de refração
Ar	1,0
Água (20 °C)	1,3
Safira	1,7
Vidro de altíssima dispersão	1,9
Diamante	2,4

O raio de luz que se propaga inicialmente no diamante incide com um ângulo $\theta_i = 30^\circ$ em um meio desconhecido, sendo o ângulo de refração $\theta_r = 45^\circ$. O meio desconhecido é

- a) vidro de altíssima dispersão.
- b) ar.
- c) água (20 °C).
- d) safira.
- e) diamante.

6. Um sistema de espelhos, esquematizado na figura a seguir, está imerso num meio 1 cujo índice de refração é $\sqrt{2}$.



Um raio luminoso incide sobre o espelho horizontal pela trajetória **a**, fazendo um ângulo de 60° em relação à reta normal deste espelho. Após esta reflexão, o raio segue a trajetória **b** e sofre nova reflexão ao atingir outro espelho, que está inclinado de 75° em relação à horizontal. Em seguida, o raio refletido segue a trajetória **c** e sofre refração ao passar deste meio para um meio 2 cujo índice de refração é igual a 1, passando a seguir a trajetória **d**. Utilizando estas informações, determine o ângulo de refração em relação à reta normal da interface entre os meios 1 e 2.

- a) 15°
- b) 30°
- c) 45°
- d) 60°
- e) 75°

7. (ENEM) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a Região Amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto, sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com a ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a Região Amazônica é possível por meio da

- a) reflexão.
- b) refração.
- c) difração.
- d) polarização.
- e) interferência.

8. As Cataratas do Niágara são um agrupamento de grandes cataratas localizadas no Rio Niágara, no leste da América do Norte.[...]; são compostas por três grupos distintos de cataratas: as Cataratas Canadenses, as Cataratas Americanas e as Cataratas Bridal Veil (Véu da Noiva). Embora não sejam excepcionalmente altas, as Cataratas do Niágara são muito largas, sendo facilmente a mais volumosa queda-d'água localizada na América do Norte. [...] As Cataratas do Niágara são famosas por sua beleza, bem como são fontes valiosas de produção de energia hidrelétrica e um desafiante projeto de preservação ambiental.

Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/>>. Acesso em: 2 jul. 2015.



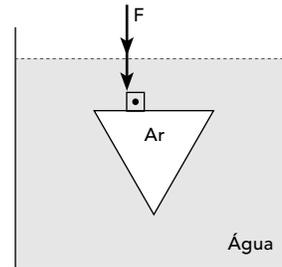
Há um passeio turístico de barco muito famoso; nele, próximo às quedas-d'água, pode-se observar com frequência a formação do arco-íris. A causa principal de sua formação é devido à incidência dos raios de luz solar sobre as gotículas de água em suspensão na atmosfera. Os raios de luz, desde o momento em que encontram as gotículas de água até atingir nossos olhos, passam por três fenômenos ópticos que, de forma bem prática e sequencial, podem ser descritos por

- a) reflexão, refração e dispersão.
- b) dispersão, refração e interferência.
- c) polarização, refração e reflexão.
- d) reflexão, interferência e reflexão.
- e) refração, reflexão e refração.

9. No fundo de uma piscina com água, há uma lâmpada que fica ligada durante a noite. Pode-se afirmar corretamente que

- a) se a piscina for suficientemente larga, a luz da lâmpada iluminará todo o ambiente externo.
- b) em hipótese alguma a luz da lâmpada sofrerá reflexão de volta para a água.
- c) todo raio luminoso proveniente da lâmpada emergirá para o ambiente externo.
- d) de qualquer lugar do ambiente externo a lâmpada será visível, independentemente das dimensões da piscina.
- e) a região do ambiente externo a ser iluminada independe do volume de água dentro da piscina.

10. No interior de um recipiente com água, monta-se um prisma de ar, como está indicado na figura ao lado. Um raio de luz vertical r , também indicado na figura, incide na água e atinge perpendicularmente a face do prisma.



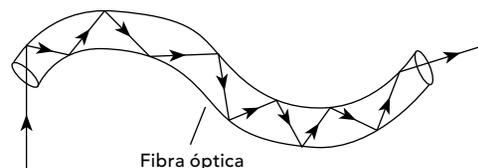
Considerando que a água é mais refringente que o ar, o esquema que representa a trajetória do raio de luz no prisma e na água é:

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

11. Quando passamos a luz branca de uma lanterna por um prisma de vidro transparente, fazendo com que a luz seja decomposta nas cores do arco-íris, chamamos este fenômeno de

- a) difração.
- b) reflexão.
- c) efeito Joule.
- d) dispersão.
- e) convecção.

12. Bastante utilizada nas telecomunicações e nos exames médicos, a fibra óptica é um filamento fino e flexível feito de vidro, plástico ou outro isolante elétrico.



No interior da fibra óptica, a luz percorre seu caminho através de sucessivas

- a) difrações.
- b) dispersões.
- c) reflexões.
- d) refrações.
- e) polarizações.

Neste livro:

Módulo 1: Introdução ao estudo da Física 57
Módulo 2: Vetores e cinemática vetorial 62
Módulo 3: Cinemática escalar I 72

Conhecimentos básicos e fundamentais		1	<h2 style="margin: 0;">Introdução ao estudo da Física</h2>
C	5		
H	17		

Conceitos básicos

Estudar qualquer tipo de ciência requer investigação, comprovação e familiarização com o que se está pretendendo conhecer. Ao longo destas aulas, não será diferente. A quantidade de informações contidas na Física, por exemplo, demandaria um tempo de que o aluno não dispõe. Porém, a apreensão dos conceitos necessários à continuação dos estudos no Ensino Superior será possível se houver clareza e objetividade, eliminando as interseções e exercitando bastante.

Notação científica



O número de estrelas da Via Láctea é da ordem dos trilhões, ou seja, são números muito grandes.

Quando se estudam ciências (Física e Química, por exemplo), encontram-se corriqueiramente, na resolução de muitas questões, números que não ajudam nas operações: são muito grandes ou muito pequenos. Para solucionar esse problema, as ciências dispõem de uma ferramenta altamente eficaz: a **notação científica**. Para escrever um número na forma de notação científica, ou, mais popularmente, na potência de dez, basta seguir o seguinte raciocínio: deve-se escrever o número em questão na forma $a \cdot 10^b$, em que **a** significa **mantissa** e 10^b equivale à **ordem de grandeza**. A mantissa sempre será um valor maior ou igual a 1 e menor que 10, e **b** $\in \mathbb{Z}$. Para transformar um número grande qualquer em notação científica, deve-se deslocar a vírgula para a esquerda até o primeiro algarismo. Veja o exemplo:

- 520000000; deslocando a vírgula, tem-se: 5,20000000. Note que a vírgula avançou 8 casas para a esquerda, logo, em notação científica, esse número fica: $5,2 \cdot 10^8$.
Para trabalhar com valores muito pequenos, é só mover a vírgula para a direita, e diminuir 1 do expoente a cada casa avançada. Veja o exemplo a seguir:
- 0,0000000586; movendo a vírgula para a direita, tem-se: 5,86 (avanço de 8 casas) ou seja: $5,86 \cdot 10^{-8}$.

Ordem de grandeza (OG)

Conforme foi visto, trabalhar com números muito grandes ou muito pequenos, utilizando a ferramenta da notação científica, torna o trabalho muito menos complicado. Porém, ainda há mais uma possibilidade de se fazer comparações rápidas entre esses números: a utilização do arredondamento prático, denominado tecnicamente por ordem de grandeza.

Para definir a ordem de grandeza de um número, basta seguir os passos:

Exemplo 1:

Achar a OG da medida 6370000 m.

1º passo: Passar o número para a forma de notação científica: $x = a \cdot 10^b$, com $1 \leq a < 10$, de acordo com o tópico anterior. Escrevendo em notação científica, tem-se: $6,37 \cdot 10^6$ m. No exemplo utilizado, $a = 6,37$ e $b = 6$.

2º passo: Analisando o valor de **a**:

- se $a \geq 3,16$ (ou $\sqrt{10}$), faça $b + 1$;
- se $a < 3,16$ (ou $\sqrt{10}$), **b** fica com o mesmo valor.

Como 6,37 é maior do que 3,16 e **b** é igual a 6, então deve-se fazer $b + 1$. Dessa forma, $6 + 1 = 7$, e a ordem de grandeza será 10^7 m.

Exemplo 2:

Determine a ordem de grandeza de: $1,49 \cdot 10^{11}$ m.

1º passo: Passar para a forma de notação científica. Como já está, não há o que fazer.

2º passo: Identificar os termos.

$a = 1,49$ e $b = 11$

Como 1,49 é menor do que 3,16, **b** permanece com o mesmo valor, isto é, 11, e a ordem de grandeza será 10^{11} m.

É provável que surja dúvida sobre o porquê do valor de 3,16 ter sido adotado como referência.

O fato é que vários processos foram descritos para efetuar tal arredondamento, porém o mais utilizado é o da média geométrica entre os extremos dos possíveis valores para o **a** da notação científica: 1 (ou 10^0) e 10 (ou 10^1).

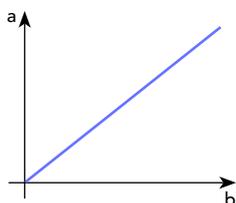
Veja que: $\sqrt{10^0 \cdot 10^1} = \sqrt{10} \cong 3,16$

Grandezas diretamente proporcionais

Diz-se que duas grandezas são diretamente proporcionais quando podem ser escritas na forma:

$$\frac{a}{b} = \text{constante}$$

Representação gráfica:

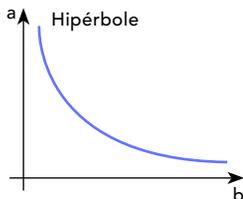


Grandezas inversamente proporcionais

Diz-se que duas grandezas são inversamente proporcionais quando podem ser escritas na forma:

$$a \cdot b = \text{constante}$$

Representação gráfica:



Sistema Internacional de Unidades

No estudo da Física, as unidades constituem uma das mais importantes peças da resolução de um problema e, se usadas de forma indevida, prejudicam a compreensão do que foi solicitado. Para reforçar a fundamentação, a seguir se encontram algumas tabelas com as unidades das principais grandezas físicas no Sistema Internacional de Unidades (SI), utilizadas frequentemente.

Unidades fundamentais do SI		
Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Corrente elétrica	Ampere	A
Temperatura	Kelvin	K
Quantidade de matéria	Mol	mol
Intensidade luminosa	Candela	cd

Outras unidades são criadas a partir de associações entre as unidades fundamentais, como as seguintes:

Algumas unidades derivadas do SI		
Grandeza	Unidade	Símbolo
Área (superfície)	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Densidade	Quilograma por metro cúbico	kg/m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	m/s ²
Força	Newton	N = kg · m/s ²
Pressão	Pascal	Pa = N/m ²
Trabalho, energia, calor	Joule	J = N · m
Potência	Watt	W = J/s
Carga elétrica	Coulomb	C = A · s
Diferença de potencial	Volt	V = J/C
Resistência elétrica	Ohm	ω = V/A

É muito comum a utilização de prefixos nas unidades; para facilitar o estudo, estão enumerados a seguir os principais prefixos utilizados para resolver questões de Física.

Prefixos, símbolos e potências de dez		
Prefixo	Símbolo	Potência de dez correspondente
Pico	p	10 ⁻¹²
Nano	n	10 ⁻⁹
Micro	μ	10 ⁻⁶
Mili	m	10 ⁻³
Centi	c	10 ⁻²
Deci	d	10 ⁻¹
Deca	da	10 ¹
Hecto	h	10 ²
Quilo	k	10 ³
Mega	M	10 ⁶
Giga	G	10 ⁹
Tera	T	10 ¹²

Análise dimensional

Análise dimensional é um meio utilizado para redefinir uma equação física utilizando a **homogeneidade dimensional**, diminuindo, assim, o número de variáveis utilizadas nos estudos.

No estudo da Mecânica, adota-se a massa (M), o comprimento (L) e o tempo (T) como as grandezas fundamentais. Dessa forma, pode-se expressar qualquer grandeza física G, de natureza mecânica, em função das letras M, L e T, obtendo, assim, o que se chama na Física de **equação dimensional da grandeza G**.

Desse modo, a equação dimensional de G, que é indicada pela notação [G], será dada por $[G] = M^\alpha L^\beta T^\gamma$. Os expoentes α , β e γ são chamados dimensões físicas da grandeza G em relação às grandezas fundamentais M, L e T e são representados por números racionais. Assim, pode-se escrever todas as grandezas da mecânica em função de M, L e T variando apenas os valores dos expoentes citados.

As dimensões de um membro da equação devem ser iguais às dimensões do outro membro. Essa condição é chamada de homogeneidade dimensional. Se pensar um pouco, verá que ela é uma condição necessária, mas não suficiente para a legitimidade física. Uma equação física pode ser dimensionalmente homogênea, mas não ser verdadeira sob outros aspectos. Pode-se destacar:

Momento de uma força: $[M_o] = M^1 L^2 T^{-2}$ e **trabalho mecânico:** $[W] = M^1 L^2 T^{-2}$ são grandezas dimensionalmente homogêneas, porém não possuem o mesmo significado físico.

Para o estudo da Termologia, adota-se como grandeza fundamental, além de L, M e T, a temperatura $[\theta]$. Já no estudo da Eletricidade, adota-se a corrente elétrica $[I]$ como mais uma dessas grandezas. Dessa forma, a título de ilustração, podem ser listados alguns exemplos de grandezas da Termologia e da Eletricidade:

- **temperatura:** $[t] = M^0 L^0 T^0 \theta^1$;
- **coeficiente de dilatação:** $[\alpha] = M^0 L^0 T^0 \theta^{-1}$;
- **quantidade de calor:** $[Q] = M^1 L^2 T^{-2} = [W]$ (trabalho);
- **calor específico:** $[c] = M^0 L^2 T^{-2} q^{-1}$;
- **capacidade térmica:** $[C] = M^1 L^2 T^{-2} \theta^{-1}$;
- **calor latente:** $[L] = M^0 L^2 T^{-2} \theta^0$;
- **carga elétrica:** $[q] = M^0 L^0 T^1 I^1$;
- **d.d.p.:** $[U] = M^1 L^2 T^{-3} I^{-1}$;
- **campo elétrico:** $[E] = M^1 L^1 T^{-3} I^{-1}$;
- **resistência elétrica:** $[R] = M^1 L^2 T^{-3} I^{-2}$;
- **capacidade eletrostática:** $[C] = M^{-1} L^{-2} T^4 I^2$;
- **fluxo magnético:** $[\Phi] = M L^2 T^{-2} I^{-1}$.

A análise dimensional é um poderoso instrumento auxiliar na previsão de fórmulas físicas. Veja o exemplo a seguir:

Um estudante, fazendo experiências em um laboratório, verifica que o período (T) de oscilação de um pêndulo simples depende do comprimento do fio (ℓ) e do módulo da aceleração da gravidade (g).

Daí, conclui-se que: $T = k \cdot \ell^\alpha \cdot g^\beta$, em que **k** é uma constante adimensional e α e β são números reais.

Resolução:

Aplicando o Princípio da Homogeneidade:

$$[T] = [L]^\alpha [g]^\beta,$$

mas: $[T] = M^0 L^0 T^1$; $[\ell] = M^0 L^1 T^0$; e $[g] = M^0 L^1 T^{-2}$

Assim:

$$M^0 L^0 T^1 = (M^0 L^1 T^0)^\alpha (M^0 L^1 T^{-2})^\beta$$

$$M^0 L^0 T^1 = M^0 L^{\alpha+\beta} T^{-2\beta}$$

$$\begin{cases} \alpha + \beta = 0 \\ -2\beta = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{1}{2} \\ \beta = -\frac{1}{2} \end{cases} \text{ Então: } T = k \cdot \ell^{\frac{1}{2}} \cdot g^{-\frac{1}{2}} \text{ ou } T = k \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Os valores das constantes adimensionais não podem ser obtidos na análise dimensional.



Atividades para sala

1. Em determinado dia, choveu 10 mm na cidade de Manaus, o que significa uma precipitação de 10 litros de água por metro quadrado.



Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>.

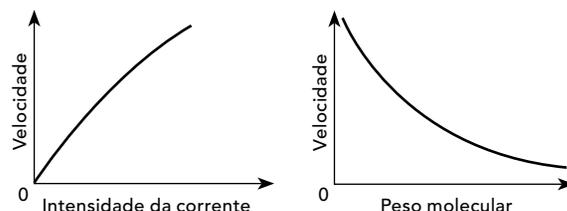
Considerando apenas a região da cidade representada na figura, cuja área é de 360000 m², a ordem de grandeza da quantidade de água, em litros, precipitada nessa região foi de

- a) 10⁴.
- b) 10⁵.
- c) 10⁶.
- d) 10⁷.
- e) 10⁸.

2. Um procedimento comum em Engenharia Genética consiste em cortar uma molécula de DNA com enzimas de restrição. Os fragmentos assim formados podem ser separados por eletroforese em suporte de gel com poros apropriados, embebido em solução salina de pH igual a 8,6. Nessa técnica, uma corrente elétrica passa pelo gel, fazendo com que os fragmentos de DNA migrem, através desses poros, para o polo positivo.

Considere três fragmentos de DNA, F₁, F₂ e F₃, cujas velocidades de migração são identificadas como V_{F1}, V_{F2} e V_{F3} e cujos pesos moleculares são, respectivamente, iguais a 2 · 10⁹, 1 · 10⁶ e 1 · 10⁷.

Observe, a seguir, os gráficos que indicam as variações da velocidade de migração dos fragmentos em função da intensidade da corrente e do tamanho das moléculas.



Durante a eletroforese, a velocidade de migração dos fragmentos F₁, F₂ e F₃ obedecerá à ordem

- a) $V_{F_1} < V_{F_3} < V_{F_2}$.
- b) $V_{F_2} < V_{F_1} < V_{F_3}$.
- c) $V_{F_3} < V_{F_1} < V_{F_2}$.
- d) $V_{F_3} < V_{F_2} < V_{F_1}$.
- e) $V_{F_2} < V_{F_3} < V_{F_1}$.

3. Atualmente, a população da Terra é de, aproximadamente, sete bilhões de habitantes. Assim, considere a Terra uma esfera carregada positivamente, em que cada habitante seja equivalente a uma carga de 1 u.c.e. (unidade de carga elétrica), esta sendo distribuída uniformemente. Desse modo, a densidade superficial de carga em ordem de grandeza, em u.c.e./m², será

Dados: raio da Terra = 6 · 10⁶ m; $\pi = 3$.

- a) 10⁻²³.
- b) 10⁵.
- c) 10².
- d) 10⁻⁵.
- e) 10²³.

4. A força resistiva (F_r) que o ar exerce sobre os corpos em movimento assume, em determinadas condições, a expressão $F_r = k \cdot v^2$, em que v é a velocidade do corpo em relação a um referencial inercial e k é uma constante para cada corpo. Para que a expressão citada seja homogênea, a unidade de k , no Sistema Internacional, deve ser

- a) m/kg.
- b) kg/m.
- c) kg²/m.
- d) kg/m².
- e) kg²/m².

5. Energia é uma palavra que vem do grego *enérgeia* (força em ação), derivada de *érgon*, termo grego cujo significado é trabalho, obra, ação. Energia na Física está associada à capacidade de qualquer corpo produzir trabalho, ação ou movimento. A grandeza física energia pode ser representada de várias formas e com a utilização de outras diferentes grandezas físicas. A composição dessas outras grandezas físicas define o que alguns chamam de formulação matemática. Dentre elas, destacam-se três:

$$E = m \cdot g \cdot h \quad E = \frac{K \cdot x^2}{2} \quad E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Considerando o Sistema Internacional de Unidades, pode-se representar energia como

- a) kg · m · s⁻¹.
- b) kg · m² · s¹.
- c) kg · m⁻² · s⁻².
- d) kg · m² · s².
- e) kg · m² · s⁻².

6. Em 1851, o físico e matemático inglês George Stokes deduziu uma fórmula para a força de atrito que atua em uma esfera de raio R imersa em um líquido de viscosidade η e que se move com velocidade v . A fórmula deduzida por Stokes é $F = 6\pi R\eta v$. Considerando essa fórmula, pode-se dizer que a unidade de viscosidade no sistema MKS é

- a) kg · m · s.
- b) $\frac{kg \cdot m}{s^2}$.
- c) $\frac{m \cdot s}{kg}$.
- d) $\frac{kg \cdot s^2}{m}$.
- e) $\frac{kg}{m \cdot s}$.



Atividades propostas

1. Um carro sem motorista transporta passageiros entre um terminal e um dos estacionamento do aeroporto de Londres. Em certo trecho, o carro se movimenta a uma velocidade de 30 km/h, gastando um tempo de 4 minutos.

Folha Online, 14 ago. 2009. (adaptado)

Admita que, na Europa, a emissão de gases poluentes esteja em um patamar de 130 g/km. A quantidade de gases poluentes emitidos no referido trecho é

- a) 130 g.
- b) 260 g.
- c) 390 g.
- d) 520 g.
- e) 650 g.

2. Sistema cardiovascular

Durante todo o tempo o sangue flui, constantemente, por uma vasta rede vascular por todos os nossos tecidos.

O coração bombeia continuamente, a cada sístole, um volume de sangue para nossas artérias. O sangue encontra uma resistência ao fluxo, proporcionada em grande parte pelo próprio atrito das moléculas e células sanguíneas

contra a parede de um longo caminho encontrado à frente através de nossos vasos sanguíneos, de variados diâmetros e numerosas ramificações. [...] Por meio de uma vasodilatação ou de uma vasoconstrição, a cada momento, o fluxo sanguíneo num tecido pode aumentar ou diminuir, devido a uma menor ou maior resistência proporcionada ao mesmo. Dois importantes fatores que determinam o fluxo ϕ num vaso, a pressão P e a resistência ao fluxo R, podem ser demonstrados pela seguinte fórmula: $\phi = \frac{P}{R}$.

Disponível em: <<http://www.sogab.com.br>>. Acesso em: 28 maio 2015. (adaptado)

Analisando-se a situação descrita anteriormente, pode-se inferir que,

- a) sempre que houver um aumento da pressão, haverá um aumento do fluxo, independentemente do que houver com a resistência.
- b) sempre que houver um aumento da pressão, haverá uma redução no fluxo, independentemente do que houver com a resistência.
- c) sempre que houver uma redução na pressão, sem mudança na resistência, haverá redução no fluxo.
- d) sempre que houver redução na resistência, sem haver mudança na pressão, haverá redução no fluxo.
- e) sempre que houver aumento do fluxo, haverá redução na resistência, independentemente do que houver com a pressão.

3. Considere a Terra como uma esfera condutora, carregada uniformemente, cuja carga total é $Q = 6,0 \mu C$, e a distância entre o centro da Terra e um ponto P na superfície da Lua é de, aproximadamente, $R = 4 \cdot 10^8$ m. A constante eletrostática K no vácuo é de aproximadamente $9 \cdot 10^9 N \cdot m^2/C^2$. É correto afirmar que a ordem de grandeza do potencial

elétrico V, cujo valor é calculado por $V = \frac{K \cdot Q}{R}$, nesse ponto

P na superfície da Lua vale, em volts,

- a) 10⁻².
- b) 10⁻³.
- c) 10⁻⁴.
- d) 10⁻⁵.
- e) 10⁻¹².

4. Data de 1995 a descoberta do primeiro planeta a orbitar uma estrela similar ao Sol. De lá para cá, mais de 700 sistemas planetários fora do Sistema Solar já foram descobertos. Um deles é formado pela estrela batizada de Gliese 581 e por 6 planetas conhecidos. Em um dos planetas desse sistema, batizado de Gliese 581g, a duração de um ano (que é o período de uma revolução em torno de sua estrela central) é de apenas 37 dias terrestres.

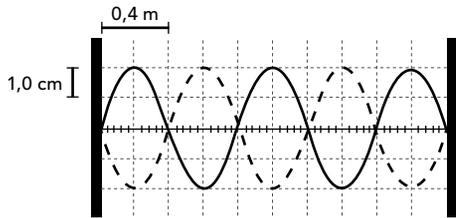


Abel Mendez/UPR Arcibo

Com base no texto, pode-se inferir que um intervalo de 12 anos na Terra corresponde a quantos anos, aproximadamente, em Gliese 581g?

- a) 12 anos c) 220 anos e) 600 anos
b) 120 anos d) 376 anos

5. Observa-se, na figura a seguir, uma corda fixa em suas extremidades, na qual foi estabelecida uma onda estacionária.



Qualquer ponto da corda, com exceção dos nós, efetua 10 oscilações por segundo. Sabendo-se que a equação fundamental da ondulatória é $v = \lambda \cdot f$, sendo λ o comprimento da onda, f a frequência de oscilação e v a velocidade de propagação, a ordem de grandeza da velocidade das ondas que deram origem à onda estacionária, em m/s, vale

- a) 10^2 . d) 10^{-2} .
b) 10^{-1} . e) 10^0 .
c) 10^1 .

6. O acelerador de íons pesados relativísticos de Brookhaven (Estados Unidos) foi inaugurado com a colisão entre dois núcleos de ouro, liberando uma energia de 10 trilhões de elétrons-volt. Os cientistas esperam, em breve, elevar a energia a 40 trilhões de elétrons-volt, para simular as condições do Universo durante os primeiros microssegundos após o Big Bang.

Ciência Hoje, set. 2000.

Sabendo que 1 elétron-volt é igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ joules, a ordem de grandeza da energia, em joules, que se espera atingir em breve com o acelerador de Brookhaven é igual a

- a) 10^{-8} . d) 10^{-5} .
b) 10^{-7} . e) 10^{-4} .
c) 10^{-6} .

7. Nem sempre é preciso ter amplo domínio sobre determinado conteúdo para compreender o significado de algumas grandezas. Para tal, existe a análise dimensional, que tem como um dos seus principais objetivos a interpretação de uma grandeza com base nas unidades de outras mais básicas. Por exemplo, o quociente da unidade de força dividida pela unidade de velocidade pode ser utilizado para medir

- a) potência.
b) trabalho.
c) vazão volumétrica de gás.
d) vazão volumétrica de líquidos.
e) vazão de massas.

8. Uma grandeza física que não possui unidade é chamada de adimensional. Um exemplo desse tipo de grandeza física é

- a) índice de refração. d) massa.
b) tempo. e) temperatura.
c) peso.

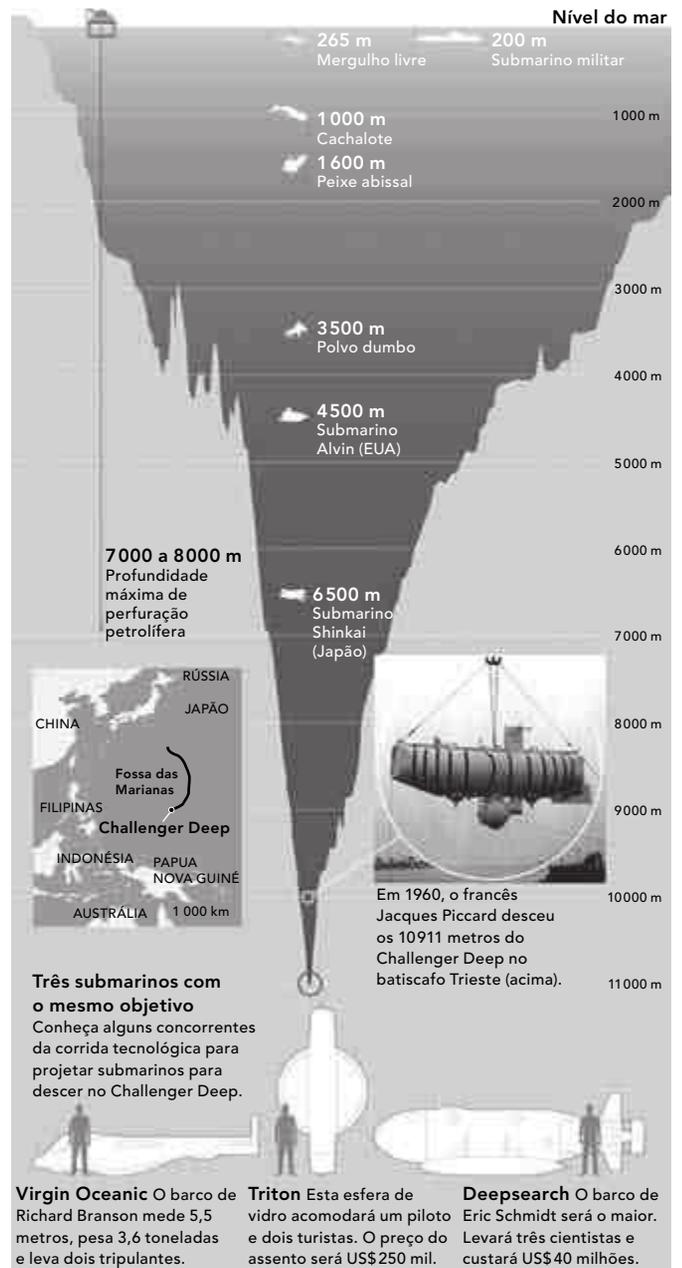
9. É muito comum, no estudo das Ciências da Natureza, usar-se fórmulas em que há uma aparente dificuldade na interpretação das unidades de algumas grandezas. Uma

ferramenta prática e que em muitos casos ajuda muito é verificar a unidade da grandeza desconhecida em função das que são conhecidas.

Em uma dessas situações, um estudante chegou à conclusão de que há uma proporcionalidade entre energia e velocidade. Portanto, a constante de proporcionalidade, em termos dimensionais, possui unidade de

- a) pressão.
b) quantidade de movimento.
c) trabalho.
d) força.
e) potência.

10.



Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com>>. Acesso em: 5 set. 2013.

No infográfico anterior, é possível ver a curiosa profundidade da Fossa das Marianas, que teria a capacidade de cobrir o Monte Everest, o ponto culminante da Terra, com seus incríveis 8848 m.

Usando adequadamente a notação científica, pode-se afirmar que a profundidade abissal da Fossa das Marianas pode ser escrita como

- a) $1,1 \cdot 10^3$ km.
- b) $1,1 \cdot 10^5$ dm.
- c) $1,1 \cdot 10^7$ dam.
- d) $1,1 \cdot 10^8$ hm.
- e) $1,1 \cdot 10^9$ cm.

11. Ondas acústicas são ondas de compressão, ou seja, propagam-se em meios compressíveis. Quando uma barra metálica é golpeada em sua extremidade, uma onda longitudinal propaga-se por ela com velocidade $v = \sqrt{\frac{Ea}{\rho}}$. A grandeza E é conhecida como módulo de Young, enquanto ρ é a massa específica e a uma constante adimensional. Qual das alternativas é condizente à dimensão de E?

- a) J/m^2
- b) N/m^2
- c) $J/s \cdot m$
- d) $kg \cdot m/s^2$
- e) dyn/cm^3

12. Uma das maiores descobertas da humanidade no século XX ocorreu em 1929, quando o astrônomo Edwin Hubble descobriu que as galáxias distantes se moviam com velocidade diretamente proporcional à distância em relação a nós, na Terra. Essa descoberta deu suporte experimental à teoria de que o Universo teve origem em uma grande explosão, conhecida por Big Bang, a partir de um estado inicial, e se expande desde então. A descoberta de Hubble é resumida em uma expressão simples, conhecida como Lei de Hubble, que relaciona a velocidade à distância da galáxia em relação a nós (na Terra): $V = HL$, sendo L a distância da galáxia distante em relação à Terra, e H uma constante (constante de Hubble), que permitiu estimar a idade do Universo, conhecida hoje, em cerca de 14 bilhões de anos. Segundo a expressão da Lei de Hubble, a constante H é medida em unidades de

- a) velocidade.
- b) tempo.
- c) inverso de tempo.
- d) comprimento.
- e) inverso de comprimento.

Conhecimentos básicos e fundamentais

C	5
H	17

Módulo

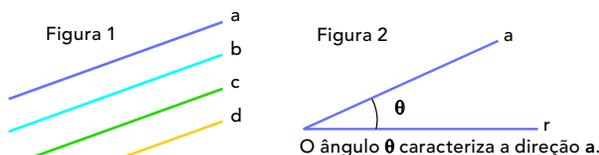
2

Vetores e cinemática vetorial

Noções básicas

Direção e sentido

Para iniciar o estudo sobre vetores, é importante diferenciar o significado de dois termos usados com frequência em Física, muitas vezes de forma incorreta. Considere as retas **a**, **b**, **c** e **d**, como indicado na figura 1. O que elas possuem em comum? São todas paralelas. Essa característica é chamada de **direção**, que pode ser horizontal ou vertical. Dessa forma, pode-se dizer que a direção é o que existe em comum entre as retas paralelas **a**, **b**, **c** e **d**, e que ela pode ser caracterizada pelo ângulo θ , que uma das retas do conjunto forma com outra adotada como referência, conforme pode ser observado na figura 2.



Retas com a mesma direção.

Já a palavra **sentido**, por sua vez, é a orientação que uma direção possui, ou seja, toda direção possui dois sentidos. Exemplos: direita, esquerda, para cima, para baixo, para frente, para trás.

Grandezas físicas

Adimensionais

São adimensionais as grandezas físicas que não são dotadas de uma unidade de medida.

Exemplos: coeficiente de atrito, índice de refração, densidade relativa, coeficiente de restituição etc.

Dimensionais

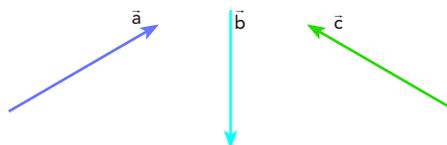
São dimensionais aquelas grandezas físicas que precisam de uma unidade de medida para completar a interpretação do valor representado. Subdividem-se em:

- **Escalares** – Somente um valor numérico (módulo) e uma unidade definem por completo esse tipo de grandeza. Exemplos: distância percorrida, área, volume, tempo, temperatura, trabalho, energia, potência, potencial elétrico, força eletromotriz etc.
- **Vetoriais** – Estas, além do módulo (valor) e da unidade, ainda precisam de uma orientação, que é dada pela direção e pelo sentido do vetor representativo.

Exemplos: deslocamento, velocidade, aceleração, impulso, quantidade de movimento, campo elétrico, velocidade angular, força, campo magnético etc.

Estudo dos vetores

Para simplificar as operações envolvendo grandezas vetoriais, utiliza-se a entidade geométrica denominada **vetor**, que nada mais é que um segmento de reta orientado, isto é, possui módulo, direção e sentido definidos. Gráficamente, o vetor é representado conforme se vê na figura a seguir. Para nomeá-lo, usa-se a convenção utilizada para designar representativamente grandezas vetoriais, isto é, letras sobre as quais se coloca uma seta.

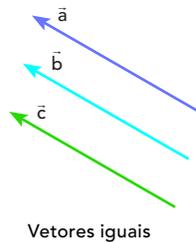


O módulo de um vetor pode ser dado pelas seguintes representações: $|\vec{a}|$ ou **a**.

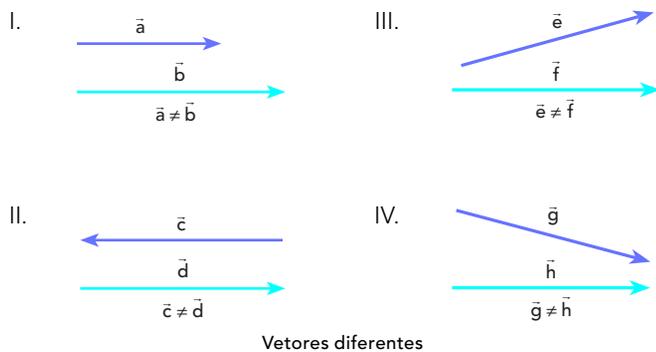
Na representação gráfica, o comprimento do segmento orientado em certa escala corresponde ao módulo do vetor.

Vetores iguais, opostos e diferentes

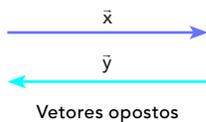
Vetores **iguais** são aqueles que possuem a mesma direção, o mesmo sentido e o mesmo módulo, conforme pode-se observar na figura a seguir.



Dois vetores são ditos **diferentes** quando pelo menos uma das características muda. Veja alguns exemplos na figura a seguir.



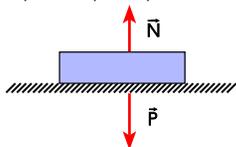
Dois vetores são **opostos** quando eles apresentam a mesma direção e o mesmo módulo, mas possuem sentidos contrários, ou seja, dois vetores opostos sempre serão diferentes, mas nem sempre vetores diferentes serão opostos. A definição de vetores opostos pode ser observada na figura a seguir.



Possuem o mesmo módulo e direção, mas sentidos diferentes e opostos.

Saiba mais

Observe, na representação a seguir, um objeto em repouso apoiado sobre uma superfície plana e horizontal. Do estudo de estática, sabe-se que a resultante dessas forças deve ter módulo nulo. Coloque V (verdadeiro) ou F (falso) nas afirmativas a seguir.



Resolução: V, V, V, F

- () $N = P$
- () $|\vec{N}| = |\vec{P}|$
- () $\vec{N} = -\vec{P}$
- () $\vec{N} = \vec{P}$

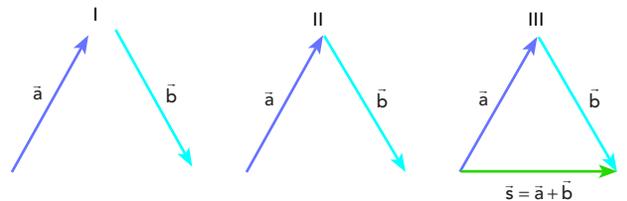
Adição de vetores – Regra do polígono

Considere, para a observação de tal regra, que sejam dados dois vetores representados pelos segmentos orientados \vec{a} e \vec{b} como indicado na figura a seguir. A adição vetorial pode ser feita por meio de dois processos: a **regra do polígono** e a **regra do paralelogramo**.

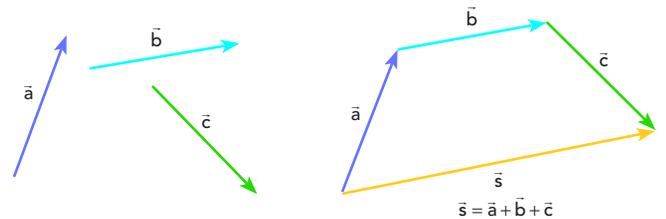
A regra do polígono deve ser aplicada da seguinte forma:

- transporta-se os vetores \vec{a} e \vec{b} de modo que a origem de um coincida com a extremidade do outro, sem modificar seus módulos, direções e sentidos (cadeia);
- liga-se a origem de \vec{a} com a extremidade de \vec{b} . Assim, obtém-se o vetor \vec{s} , que é chamado de soma ou resultante de \vec{a} e \vec{b} .

$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b} \text{ (equação vetorial)}$$



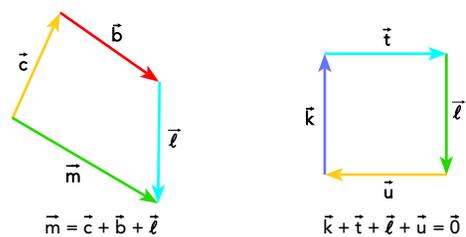
Quando mais de dois vetores estiverem sendo adicionados, a regra do polígono é aplicada da seguinte forma: coloca-se os vetores consecutivamente, isto é, a extremidade do primeiro coincidindo com a origem do segundo, a extremidade do segundo coincidindo com a origem do terceiro, sucessivamente. O vetor soma resultante é obtido ligando-se a origem do primeiro com a extremidade do último.



Tome nota

A equação vetorial não serve para calcular os módulos dos vetores, e sim para representar quem são os vetores que estão em cadeia e quem é a resultante da soma vetorial.

Exemplo:



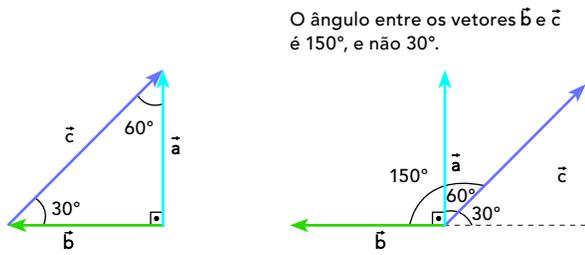
É importante frisar que a equação não diz qual é a figura exata que ela representa, e sim quais os elementos em cadeia e quem é o vetor resultante.

$$\vec{k} - \vec{l} = \vec{m} + \vec{p} \Rightarrow \underbrace{\vec{k}}_{\text{Resultante}} = \underbrace{\vec{l} + \vec{m} + \vec{p}}_{\text{Vetores em cadeia}}$$

Ângulo entre dois vetores

O ângulo entre dois vetores é medido colocando-os dispostos com a mesma origem.

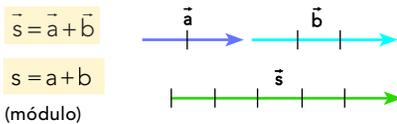
Exemplo:



O ângulo entre os vetores \vec{b} e \vec{c} é 150° , e não 30° .

Casos particulares de adição vetorial

Vetores de mesma direção e sentido



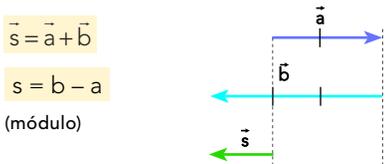
$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$$

$$s = a + b$$

(módulo)

O vetor soma apresenta a mesma direção e o mesmo sentido dos vetores parcelas, e seu módulo é igual à soma dos módulos desses vetores.

Vetores de mesma direção e sentidos opostos



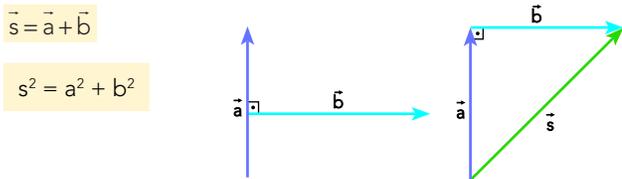
$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$$

$$s = b - a$$

(módulo)

O vetor soma apresenta a mesma direção dos vetores parcelas e o sentido do vetor de maior módulo. O módulo do vetor soma é dado pela diferença dos módulos.

Vetores de direções ortogonais

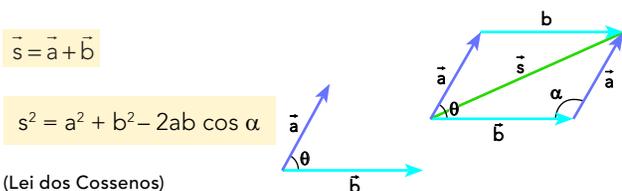


$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$$

$$s^2 = a^2 + b^2$$

A direção e o sentido do vetor soma são dados pela regra do polígono (ou do paralelogramo). O módulo é calculado pela aplicação do Teorema de Pitágoras ao triângulo da figura.

Vetores formando um ângulo θ



$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$$

$$s^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$$

(Lei dos Cossenos)

Para que se utilize o ângulo θ , deve-se recorrer à trigonometria: $\theta + \alpha = 180^\circ$, portanto: $\cos \theta = -\cos \alpha$. Dessa forma: $s^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cdot \cos \theta$ (módulo). Para que haja operação, os vetores têm que estar em cadeia. Em seguida, aplica-se a Lei dos Cossenos para calcular o módulo da resultante.

As regras apresentadas para a adição de vetores podem ser utilizadas na adição de quaisquer grandezas vetoriais, como forças, quantidades de movimento etc.

Para aplicar a regra do paralelogramo na adição de mais de dois vetores, deve-se adicioná-los dois a dois. Assim, o vetor soma dos dois primeiros é adicionado ao terceiro; o novo vetor soma é adicionado ao quarto, sucessivamente.

Operações com vetores

Diferença de vetores

Chama-se diferença dos vetores \vec{v}_2 e \vec{v}_1 , nessa ordem, o vetor:

$$\vec{d} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{v}_2 + (-\vec{v}_1)$$

Para a representação e o cálculo do módulo do vetor diferença ou subtração, deve ser aplicado o mesmo raciocínio descrito para a adição, tendo-se apenas a precaução de trocar o sentido do vetor que será subtraído, para que possa ser trabalhado como se fosse uma soma vetorial. Observe o procedimento a seguir:

Lembre-se: $\vec{d} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{v}_2 + (-\vec{v}_1)$

Dessa forma:



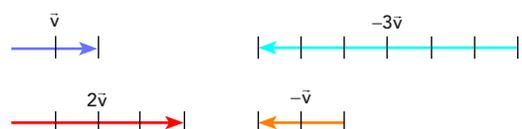
$$d^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 \cdot v_2 \cos \theta \text{ (módulo)}$$

Produto de um número real por um vetor

O produto de um número real n por um vetor \vec{v} é o vetor $\vec{u} = n \cdot \vec{v}$, que tem as seguintes características:

- ▶ **Módulo de \vec{u}** – $|\vec{u}| = n \cdot |\vec{v}|$.
- ▶ **Direção de \vec{u}** – É a mesma de \vec{v} , caso $n \neq 0$.
- ▶ **Sentido de \vec{u}** – É o mesmo de \vec{v} , se $n > 0$, e oposto ao de \vec{v} , se $n < 0$.
 - Se $n = 0$, o vetor \vec{u} recebe o nome de **vetor nulo** e é indicado por $\vec{0}$. O vetor nulo tem módulo igual a zero e direção e sentido indeterminados.
 - Se $n = -1$, o vetor $\vec{u} = (-1) \cdot \vec{v}$ tem o mesmo módulo, a mesma direção e sentido oposto ao de \vec{v} . É o **vetor oposto** de \vec{v} , sendo indicado por $-\vec{v}$.

Na figura a seguir, o vetor \vec{v} tem módulo igual a 2, direção horizontal e sentido da esquerda para a direita. Observe, nesta figura, os segmentos orientados que representam os vetores $2\vec{v}$, $-3\vec{v}$ e $-\vec{v}$.



Veja alguns exemplos de aplicações no estudo da Física:

$$\vec{v} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{d} = \vec{v} \cdot \Delta t$$

Como $\Delta t > 0$, \vec{d} e \vec{v} são vetores com mesma direção e sentido.

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \text{ para } \vec{F} \text{ constante}$$

Como $\Delta t > 0$, \vec{I} e \vec{F} são vetores com mesma direção e sentido.

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

Como $m > 0$, \vec{Q} e \vec{v} são vetores com mesma direção e sentido.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

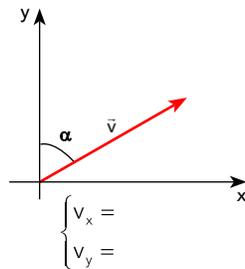
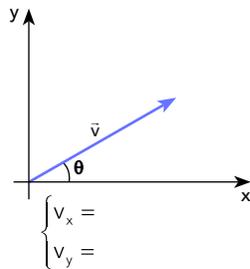
Como $m > 0$, \vec{F} e \vec{a} são vetores com mesma direção e sentido.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

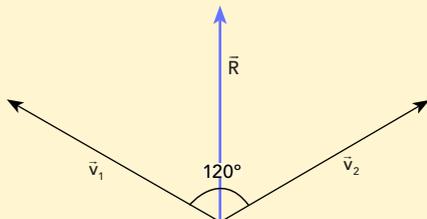
Quando $q > 0$, \vec{E} e \vec{F} são vetores com mesma direção e sentido; quando $q < 0$, \vec{E} e \vec{F} são vetores com mesma direção e sentidos opostos.

Projeção de um vetor ou decomposição em componentes ortogonais

A decomposição de um vetor é muito utilizada no estudo da Dinâmica e da Estática. Escreva o módulo de \vec{v}_x e \vec{v}_y nos exemplos a seguir, em função de θ e α .

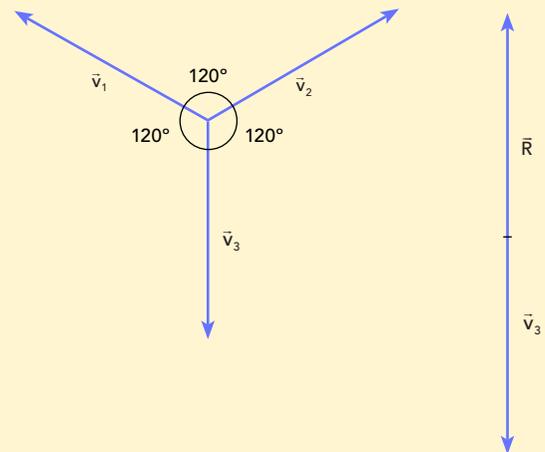


- Sempre que dois vetores iguais em módulo formam 120° entre si, fornecem resultante de módulo igual ao dos componentes e na direção da bissetriz do ângulo formado entre eles.



- A resultante máxima (módulo) de dois vetores será obtida quando os dois tiverem mesma direção e sentido, e ela terá módulo mínimo quando os vetores tiverem mesma direção e sentido contrário. $|v_1 - v_2| \leq R \leq v_1 + v_2$.

- Sempre que três vetores iguais em módulo formam 120° entre si, fornecem resultante nula. Observe a figura a seguir.



$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = |\vec{v}_3| = v$$

$$R^2 = v^2 + v^2 + 2 \cdot v \cdot v \cdot \cos 120^\circ$$

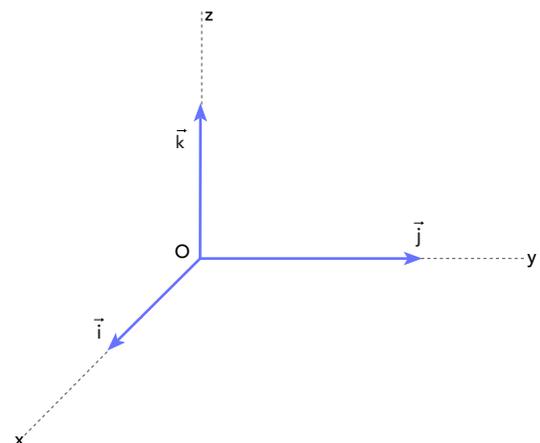
$$R^2 = 2v^2 + 2v^2 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right)$$

$$R^2 = v^2 \Rightarrow R = v$$

Como $|\vec{R}| = |\vec{v}_3| \rightarrow$ resultante nula.

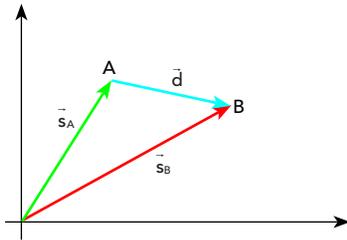
Versores

Versor é o vetor de módulo 1 (vetor unitário), com a direção de um dado vetor. É muito comum ver, em provas de Física, a utilização de alguns vetores escritos em função dos vetores unitários \mathbf{i} , \mathbf{j} e \mathbf{k} , que são, nessa ordem, os vetores unitários nas direções \mathbf{x} , \mathbf{y} e \mathbf{z} . Um vetor é definido como múltiplo ou submúltiplo de \mathbf{m} vezes um versor e possui o mesmo sentido quando \mathbf{m} for positivo ou o sentido oposto, caso \mathbf{m} seja negativo. Assim, um vetor pode ser expresso como o produto de um versor por um escalar.



Cinemática vetorial

Vetor posição (\vec{s}) e vetor deslocamento (\vec{d})



$$\vec{s}_A + \vec{d} = \vec{s}_B$$

ou

$$\vec{d} = \vec{s}_B - \vec{s}_A$$

Vetor velocidade média

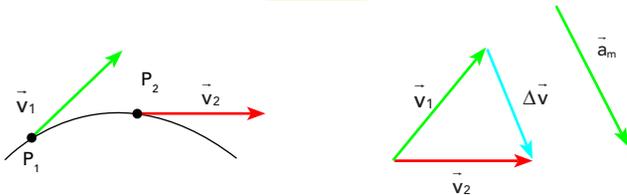
$$\vec{v}_m = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

Vetor velocidade instantânea

Se, na fórmula anterior, o intervalo de tempo Δt tender a zero, será encontrado um novo vetor, denominado velocidade vetorial instantânea ou **vetor velocidade instantânea**. A velocidade vetorial instantânea tem direção sempre tangente à trajetória, e o sentido é o mesmo do movimento. Diz-se, na prática, que o vetor velocidade instantânea só é utilizado para indicar para onde o corpo está se deslocando naquele instante.

Vetor aceleração média

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$



É válido salientar que, para fazer o cálculo do módulo da aceleração vetorial média, é preciso fazer uso do conceito de diferença vetorial, visto na aula 4. Observe ainda que o vetor aceleração vetorial média tem a mesma direção e sentido da variação da velocidade vetorial.

Vetor aceleração instantânea

Quando o intervalo de tempo Δt tende a um valor muito pequeno, o vetor aceleração média passa a ser chamado de **aceleração instantânea**. O vetor aceleração instantânea indica se há alguma mudança no vetor velocidade. Essas mudanças podem ser na direção do movimento (quando o corpo faz curva) ou no módulo (quando o corpo é acelerado ou retardado). Porém, uma só grandeza não poderia fazer essas duas medições. Fazendo uso do conceito de decomposição de vetores, pode-se decompô-lo em duas componentes ortogonais, que são definidas como: componente aceleração centrípeta (associada a mudanças na direção do movimento) e componente aceleração tangencial (associada a variações no módulo do vetor velocidade).

Δ módulo do \vec{v}

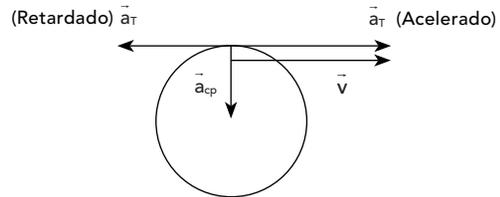


Equação vetorial $\rightarrow \vec{a} = \vec{a}_{cp} + \vec{a}_T$

Equação dos módulos $a^2 = a_{cp}^2 + a_T^2$

Δ direção do \vec{v}

Exemplo:



Todo movimento tem a seguinte estrutura de classificação: Movimento + Classificação quanto à direção do vetor velocidade + Classificação quanto ao módulo do vetor velocidade.

Exemplos: MRU, MRUV, MCU, MCUV.

- Quanto à direção do movimento ou do vetor velocidade:
 - Retilíneo $\rightarrow \vec{a}_{cp} = \vec{0}$
 - Curvilíneo $\rightarrow a_{cp} \neq 0$
- Quanto ao módulo do vetor velocidade:
 - Uniforme $\rightarrow \vec{a}_T = \vec{0}$
 - Variado $\rightarrow \vec{a}_T \neq \vec{0}$

Saiba mais

A palavra **uniformemente**, que acompanha a classificação dos movimentos, serve apenas para classificar o módulo (valor) da aceleração tangencial como constante. Assim, a palavra **variado**, que também pode acompanhar a classificação do movimento, a presença de \vec{a}_T e a palavra **uniformemente** garantem que seu módulo seja constante.

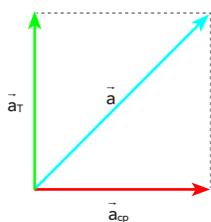
Os movimentos variados podem ser:

- Acelerados \rightarrow quando o $|\vec{v}|$ aumenta ou quando \vec{a}_T e \vec{v} têm a mesma direção e sentido.
- Retardados \rightarrow quando o $|\vec{v}|$ diminui ou quando \vec{a}_T e \vec{v} têm a mesma direção e sentidos opostos.

Em resumo, tem-se:

Mov.	Acel.	\vec{a}_{cp}	\vec{a}_T	\vec{a}
MRU		$\vec{0}$	$\vec{0}$	$\vec{0}$
MRUV		$\vec{0}$	\vec{a}_T	\vec{a}_T
MCU		\vec{a}_{cp}	$\vec{0}$	\vec{a}_{cp}
MCUV		\vec{a}_{cp}	\vec{a}_T	$\vec{a}_{cp} + \vec{a}_T$

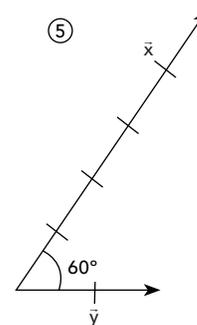
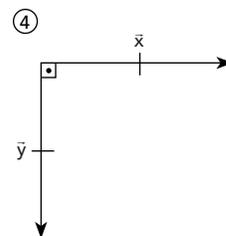
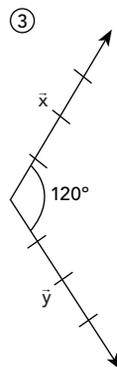
Lembre que: $a^2 = a_{cp}^2 + a_T^2$



\vec{a}_{cp} e \vec{a}_T não são “novas acelerações”, e sim componentes do vetor aceleração \vec{a} nas respectivas direções (centro e tangente à trajetória).

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

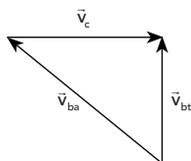
O vetor aceleração tangencial é sempre paralelo ao vetor velocidade instantânea, e o vetor aceleração centrípeta é sempre perpendicular ao vetor velocidade instantânea.



Atividades para sala

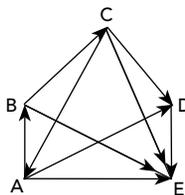
1. Um barco deseja fazer a travessia de um rio seguindo a menor distância possível, conforme representado na figura a seguir. Sendo $v_{ba} = 2,4 \text{ m/s}$, $v_c = 1,2 \text{ m/s}$ e v_{bt} (não informado), respectivamente, os módulos da velocidade do barco em relação à água, da correnteza e do barco em relação à terra, quanto vale o ângulo entre os vetores \vec{v}_{ba} e \vec{v}_c ?

- a) 30°
- b) 45°
- c) 60°
- d) 120°
- e) 150°

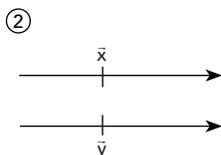
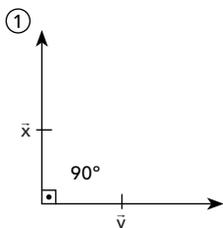


2. O vetor resultante da soma de $\vec{AB} + \vec{BE} + \vec{CA}$ é

- a) \vec{AE} .
- b) \vec{AD} .
- c) \vec{CD} .
- d) \vec{CE} .
- e) \vec{BC} .



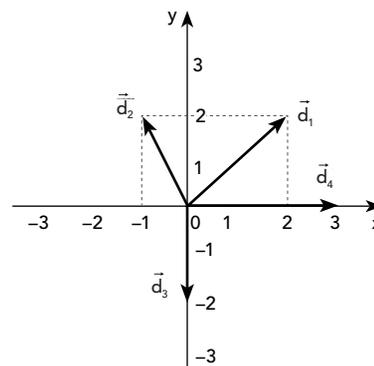
3. Nas figuras seguintes estão representados pares de vetores \vec{x} e \vec{y} nos quais cada segmento orientado está subdividido em segmentos unitários.



Quais destes pares têm o mesmo módulo da resultante?

- a) 1 e 3.
- b) 2 e 3.
- c) 1 e 2.
- d) 4 e 5.
- e) 2 e 4.

4. Uma bola de bilhar sofre quatro deslocamentos sucessivos, representados pelos vetores $\vec{d}_1, \vec{d}_2, \vec{d}_3$ e \vec{d}_4 , apresentados no diagrama a seguir.



O deslocamento resultante \vec{d} da bola está, corretamente, descrito em

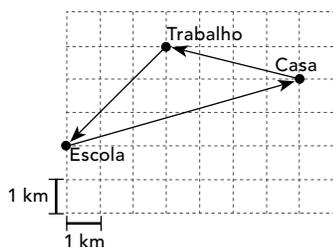
- a) $\vec{d} = -4\vec{i} + 2\vec{j}$.
- b) $\vec{d} = -2\vec{i} + 4\vec{j}$.
- c) $\vec{d} = 2\vec{i} + 4\vec{j}$.
- d) $\vec{d} = 4\vec{i} + 2\vec{j}$.
- e) $\vec{d} = 4\vec{i} + 4\vec{j}$.

5. Um pássaro, que estava parado no galho de uma árvore, voou horizontalmente, deslocando-se 30 m para a direita e, em seguida, 40 m para a esquerda, até parar em outra

direção dos números na extremidade do relógio, determine o vetor resultante da soma dos dois vetores correspondentes aos ponteiros de hora e minuto quando o relógio marca 6 horas.

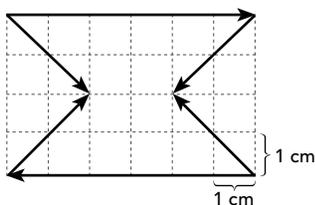
- O vetor tem módulo 1 cm e aponta na direção do número 12 do relógio.
- O vetor tem módulo 2 cm e aponta na direção do número 12 do relógio.
- O vetor tem módulo 1 cm e aponta na direção do número 6 do relógio.
- O vetor tem módulo 2 cm e aponta na direção do número 6 do relógio.
- O vetor tem módulo 1,5 cm e aponta na direção do número 6 do relógio.

3. O gráfico representa o deslocamento diário de uma pessoa ao sair de casa e a ela retornar.



Com base nessa informação, pode-se afirmar que a distância percorrida pela pessoa, nesse trajeto, é igual, aproximadamente, em km, a

- 15,6.
 - 13,2.
 - 11,4.
 - 8,4.
 - 7,9.
4. Um desenhista, tentando criar uma marca para uma transportadora de cargas, fez uso de seis setas no desenho como no esboço a seguir.



Um dos diretores da empresa, que é engenheiro, disse que, apesar da criatividade das setas para mostrar que atuavam em várias direções, via na imagem uma representação que poderia ser mal interpretada e, conseqüentemente, prejudicaria a imagem da empresa. Sem que ninguém entendesse seu comentário, pediram que explicasse o que ele via. Ele disse: "Vejo seis vetores e que, como a resultante deles é nula, alguém poderia vir a dizer que o que eles faziam na realidade era algo nulo!" Admitindo que o papel utilizado no desenho seja formado de quadrados de lado 1 cm e o exagero da "visão" do diretor, sua observação, fisicamente falando, está

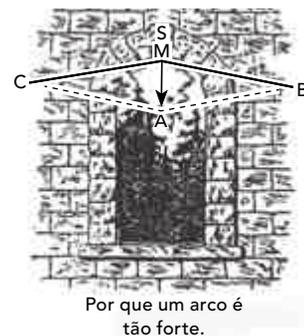
- errada, pois o desenho traduz uma resultante de módulo 12 cm.
- errada, pois o desenho traduz uma resultante de módulo 1,0 cm.
- certa quanto ao número de vetores, porém errada quanto ao módulo da resultante, que vale 7,0 cm.
- certa, pois o desenho realmente traduz uma resultante de módulo nulo.
- sem lógica, pois não é possível calcular o módulo da resultante visto que faltam dados.

5. Considere um relógio com mostrador circular de 10 cm de raio e cujo ponteiro dos minutos tem comprimento igual ao raio do mostrador. Considere esse ponteiro como um vetor de origem no centro do relógio e direção variável.

O módulo da soma vetorial dos três vetores determinados pela posição desse ponteiro quando o relógio marca exatamente 12 horas, 12 horas e 30 minutos e, por fim, 12 horas e 40 minutos é, em cm, igual a

- 30.
 - $20\sqrt{2}$.
 - 20.
 - 10.
 - 8.
6. Duas únicas forças, uma de 3 N e outra de 4 N, atuam sobre uma massa puntiforme. Sobre o módulo da aceleração dessa massa, é correto afirmar-se que
- é o menor possível se os dois vetores força forem perpendiculares entre si.
 - é o maior possível se os dois vetores força tiverem mesma direção e mesmo sentido.
 - é o maior possível se os dois vetores força tiverem mesma direção e sentidos contrários.
 - é o menor possível se os dois vetores força tiverem mesma direção e mesmo sentido.
 - é o maior possível se os dois vetores forem perpendiculares entre si.

7. A figura mostra um pequeno arco de uma janela de pedra. S (peso da alvenaria acima do arco) exerce pressão sobre a pedra mestra cuneiforme que está no meio do arco, produzindo uma força designada pela letra A. Entretanto, a pedra mestra não pode cair por causa de sua forma (de cunha), simplesmente



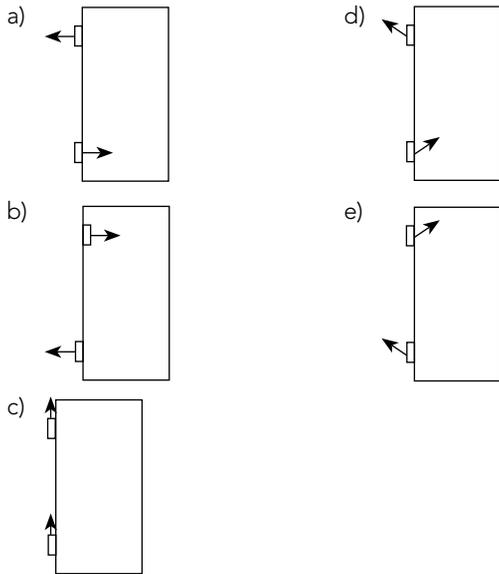
exerce pressão sobre as vizinhas. A força A se decompõe (devido à forma curva do arco), de acordo com a regra do paralelogramo, em duas forças designadas pelas flechas C e B. Essas duas forças são anuladas pela resistência oferecida pelos tijolos adjacentes, os quais, por sua vez, são pressionados pelos outros. Por isso, a força que pressiona de cima para baixo o arco não o rompe. Por outro lado, é muito fácil destruir o arco empurrando-o para cima. Não é de se admirar, portanto, que a forma em cunha dos tijolos os impeça de cair, mas não de serem empurrados para cima.

PERELMAN, J. Desafio a Crilov. In: _____. *Aprenda Física brincando*. São Paulo: Hemus, 1970. (adaptado)

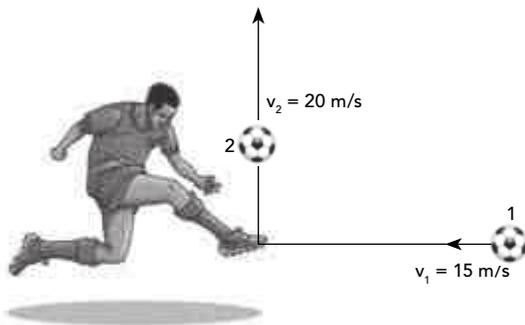
O valor do vetor A depende apenas do(s)

- raio do arco.
 - valores de B e de C.
 - ângulo entre B e C.
 - valores de B e de C e do seno do ângulo entre eles.
 - valores de B e de C e do cosseno do ângulo entre eles.
8. (ENEM) O mecanismo que permite articular uma porta (de um móvel ou de acesso) é a dobradiça. Normalmente, são necessárias duas ou mais dobradiças para que a porta seja fixada no móvel ou no portal, permanecendo em equilíbrio e podendo ser articulada com facilidade.

No plano, o diagrama vetorial das forças que as dobradiças exercem na porta está representado em



9. No estudo da cinemática, diz-se que $\Delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_0$. De posse dessa informação, calcule o que se pede na situação a seguir.

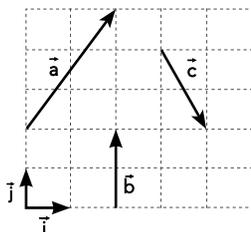


Em uma partida de futebol, a bola, que se desloca horizontalmente, atinge o pé do zagueiro com velocidade v_1 , de módulo 15 m/s. O impulso do chute do jogador faz com que a bola adquira velocidade v_2 , de módulo 20 m/s, na direção vertical, imediatamente após o chute. Qual o módulo da variação do vetor velocidade entre os instantes 1 e 2 descritos?

- a) 5 m/s
- b) 15 m/s
- c) 20 m/s
- d) 25 m/s
- e) 30 m/s

10. No gráfico, estão representados os vetores \vec{a} , \vec{b} e \vec{c} . Os vetores \vec{i} e \vec{j} são unitários. Analise as expressões a seguir.

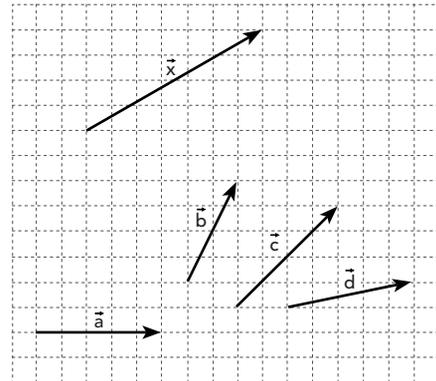
- I. $\vec{a} = 2\vec{i} + 3\vec{j}$
- II. $\vec{b} = 2\vec{j}$
- III. $\vec{b} + \vec{c} = +1\vec{i}$



Pode-se afirmar que

- a) são corretas apenas I e II.
- b) são corretas apenas II e III.
- c) são corretas apenas I e III.
- d) são todas corretas.
- e) há apenas uma correta.

11. Uma pessoa criou um método para representar os seus diversos deslocamentos. Para isso, fez a utilização de vetores. Representou saídas, como ir de casa para a escola, da escola para a academia, da academia para casa, de casa para a igreja etc. Na figura a seguir, pode-se observar alguns desses deslocamentos: \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} , \vec{d} e \vec{x} . Se soubéssemos que o vetor \vec{x} é a resultante de dois desses vetores, qual das equações a seguir seria a correta?



- a) $\vec{x} = \vec{a} + \vec{b}$
- b) $\vec{x} = \vec{a} + \vec{c}$
- c) $\vec{x} = \vec{a} + \vec{d}$
- d) $\vec{x} = \vec{b} + \vec{c}$
- e) $\vec{x} = \vec{b} + \vec{d}$

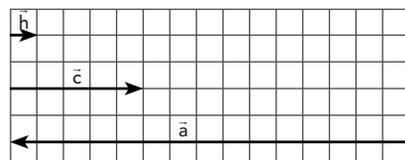
12. No Monumento às Bandeiras, situado no Parque do Ibirapuera em São Paulo, o escultor Victor Brecheret representou a ação de escravos e portugueses empenhados em transportar uma enorme canoa, arrastando-a pela mata.



Disponível em: <<http://www.atibaia.com.br>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

Admita que, em uma situação real, todos os homens que estão a pé exercem forças de iguais intensidades entre si e que as forças exercidas pelos cavalos também tenham as mesmas intensidades entre si.

Na malha quadriculada a seguir estão representados o sentido e a direção dos vetores força de um homem, de um cavalo e do atrito da canoa com o chão. Como a malha é constituída de quadrados, também é possível verificar que as intensidades da força de um cavalo e do atrito são múltiplos da intensidade da força de um ser humano.



Legenda:

- \vec{h} : vetor que representa a força de um único homem;
- \vec{c} : vetor que representa a força de um único cavalo;
- \vec{a} : vetor que representa a força de atrito da canoa com o chão.

Imagine que, em determinado momento, as forças horizontais sobre a canoa sejam unicamente a de sete homens, dois cavalos e do atrito da canoa com o chão. A canoa tem massa igual a 1200 kg e, devido às forças aplicadas, ela é movimentada com aceleração de $0,4 \text{ m/s}^2$.

Com base nas informações anteriores, é correto afirmar que a intensidade da força exercida por um único homem é, em N,

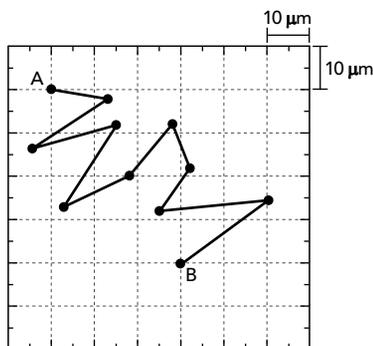
- a) 180. c) 360. e) 500.
b) 240. d) 480.

13. Quando o vetor velocidade sofre alguma variação, existe uma aceleração atuando. Existem a aceleração tangencial ou linear e a aceleração centrípeta.

Assinale a alternativa que caracteriza corretamente cada uma dessas duas acelerações.

- a) Aceleração tangencial é consequência da variação no módulo do vetor velocidade; aceleração centrípeta é consequência da variação na direção do vetor velocidade.
b) Aceleração tangencial é consequência da variação na direção do vetor velocidade; aceleração centrípeta é consequência da variação no módulo do vetor velocidade.
c) Aceleração tangencial só aparece no MRUV; aceleração centrípeta só aparece no MCU.
d) Aceleração tangencial tem sempre a mesma direção e sentido do vetor velocidade; aceleração centrípeta é sempre perpendicular ao vetor velocidade.
e) Aceleração centrípeta tem sempre a mesma direção e sentido do vetor velocidade; aceleração tangencial é sempre perpendicular ao vetor velocidade.

14. Movimento browniano é o deslocamento aleatório de partículas microscópicas suspensas em um fluido, devido às colisões com moléculas do fluido em agitação térmica. A figura a seguir mostra a trajetória de uma partícula em movimento browniano em um líquido após várias colisões.



Sabendo-se que os pontos correspondem a posições da partícula a cada 30 s, qual é o módulo aproximado da velocidade vetorial média dessa partícula entre as posições A e B?

- a) $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$. d) $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.
b) $1,7 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. e) $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.
c) $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

15. Dois amigos, Tiago e João, resolvem iniciar a prática de exercícios físicos a fim de melhorar o condicionamento. Tiago escolhe uma caminhada, sempre com velocidade escalar constante de $0,875 \text{ m/s}$, 300 m na direção norte e, em seguida, 400 m na direção leste. João prefere uma leve corrida, 800 m na direção oeste e, em seguida, 600 m na direção sul, realizando o percurso com velocidade média de módulo $1,25 \text{ m/s}$. Sabendo que eles partem simultaneamente do mesmo ponto, o módulo do deslocamento de Tiago vale

- a) 300 m. d) 600 m.
b) 400 m. e) 700 m.
c) 500 m.

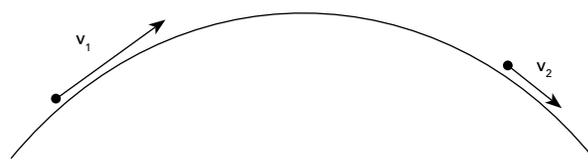
16. (ENEM) O Brasil pode se transformar no primeiro país das Américas a entrar no seleto grupo das nações que dispõem de trem-bala. O Ministério dos Transportes prevê o lançamento do edital de licitação internacional para a construção da ferrovia de alta velocidade Rio-São Paulo. A viagem ligará os 403 quilômetros entre a Central do Brasil, no Rio, e a Estação da Luz, no centro da capital paulista, em uma hora e 25 minutos.

Disponível em: <<http://www.oglobo.globo.com>>. Acesso em: 14 jul. 2009.

Devido à alta velocidade, um dos problemas a serem enfrentados na escolha do trajeto que será percorrido pelo trem é o dimensionamento das curvas. Considerando-se que uma aceleração lateral confortável para os passageiros e segura para o trem seja de $0,1 g$, em que g é a aceleração da gravidade (considerada igual a 10 m/s^2), e que a velocidade do trem se mantenha constante em todo o percurso, seria correto prever que as curvas existentes no trajeto deveriam ter raio de curvatura mínimo de, aproximadamente,

- a) 80 m. d) 1600 m.
b) 430 m. e) 6400 m.
c) 800 m.

17. A figura a seguir apresenta, em dois instantes, as velocidades v_1 e v_2 de um automóvel que, em um plano horizontal, se desloca em uma pista circular.



Com base nos dados da figura e sabendo-se que os módulos dessas velocidades são tais que $v_1 > v_2$, é correto afirmar que

- a) a componente centrípeta da aceleração é diferente de zero.
b) a componente tangencial da aceleração apresenta a mesma direção e o mesmo sentido da velocidade.
c) o movimento do automóvel é circular uniforme.
d) o movimento do automóvel é uniformemente acelerado.
e) os vetores velocidade e aceleração são perpendiculares entre si.

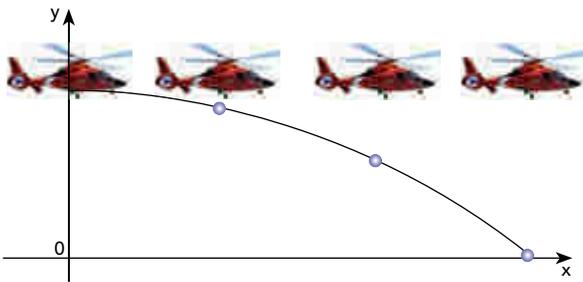
18. Uma partícula parte do repouso e descreve uma circunferência de 12 m de raio com aceleração escalar constante e igual a 4 m/s^2 . Determine o módulo da aceleração vetorial da partícula no instante $t = 1,5 \text{ s}$.

- a) 12 c) 8 e) 4
b) 10 d) 5

C	5,6
H	17,20

Para começar o estudo de cinemática escalar, é preciso definir alguns conceitos importantes. Entre os principais, destacam-se:

- **Referencial** – É tudo que se usa para estabelecer classificações. A mudança de referencial pode mudar uma classificação. Existem dois tipos básicos de referenciais: os inerciais e os não inerciais.
- **Ponto material e corpo extenso** – São denominações dadas a corpos cujas dimensões são desprezíveis ou consideráveis. Um mesmo corpo, dependendo do referencial, pode ser ponto material ou corpo extenso.
- **Repouso e movimento** – Diz-se que um corpo está em repouso quando não muda de posição em relação a um referencial; obviamente, o movimento será o contrário. Um mesmo corpo pode estar em repouso ou movimento, dependendo do referencial.
- **Trajatória** – É o “desenho” do caminho percorrido pelo corpo. Ela também pode modificar-se com a mudança de referencial. Observe a ilustração a seguir.



Nela, a trajetória do corpo abandonado será uma reta vertical para o piloto do helicóptero e um arco de parábola para alguém fixo na terra.

- **Movimento progressivo e retrógrado** – Diz-se que um corpo está em movimento progressivo quando, na estrada escolhida como referencial, os valores de suas posições (com sinal) aumentam. Em outras palavras, quando o corpo anda no sentido positivo da trajetória. Retrógrado é a definição dada à situação contrária.
- **Movimento acelerado e retardado** – No estudo da cinemática vetorial, foi visto que o movimento era classificado como acelerado se os vetores velocidade instantânea e aceleração tivessem o mesmo sentido. Caso contrário, o movimento era classificado como retardado. Já na cinemática escalar, dois conceitos podem ser utilizados. O primeiro deles diz que o movimento é acelerado quando o módulo da velocidade (ou seja, sem sinal) aumenta e é retardado quando esse módulo diminui. O segundo, mais útil para a resolução de problemas, diz que o movimento é acelerado quando os sinais da velocidade e da aceleração escalares são iguais. Quando esses sinais são contrários, o movimento é retardado. Atenção: aceleração escalar positiva não quer dizer que o movimento é acelerado nem quando ela é negativa implica que será retardado.
- **Velocidade escalar média** – É a razão entre o ΔS_{total} e o Δt_{total} , ou seja, o tempo gasto desde o início da viagem até o final, incluindo paradas.
- **Aceleração escalar média** – É a razão entre o Δv e o Δt .

Em resumo:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\text{Se } \begin{cases} \Delta S > 0 \rightarrow v > 0 \text{ (progressivo)} \\ \Delta S < 0 \rightarrow v < 0 \text{ (retrógrado)} \end{cases}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\text{Se } \begin{cases} \Delta v > 0 \rightarrow a > 0 \text{ (aumento da velocidade escalar)} \\ \Delta v < 0 \rightarrow a < 0 \text{ (diminuição da velocidade escalar)} \end{cases}$$

- ⎧ Acelerado → quando aumenta o módulo da velocidade/quando **a** e **v** possuem mesmo sinal.
- ⎧ Retardado → quando diminui o módulo da velocidade/quando **a** e **v** possuem sinais opostos.

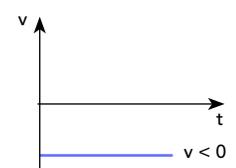
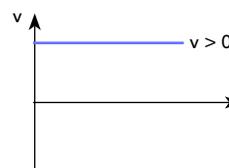
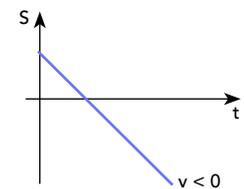
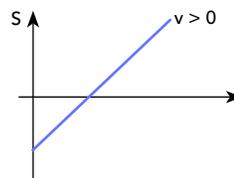
Movimento uniforme

Chama-se **movimento uniforme** aquele em que a velocidade escalar do móvel é constante em qualquer instante ou intervalo de tempo, ou seja, nesse tipo de movimento o móvel percorre distâncias iguais em tempos iguais.

O movimento é **retilíneo uniforme** quando o móvel percorre uma trajetória retilínea e apresenta velocidade escalar constante. É a única situação em que tanto o vetor velocidade quanto a velocidade escalar são constantes.

$$\text{MU } (a_T = 0)$$

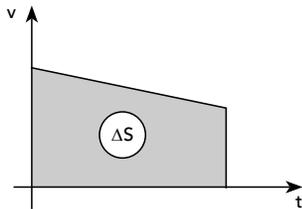
$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \text{ ou } S = S_0 + v \cdot t$$



Tome nota

Na resolução de problemas desse assunto, pode-se fazer uso de algumas informações importantes:

- Passar pela origem dos espaços significa $S = 0$.
- Inverter o sentido do movimento significa $v = 0$.
- Dois corpos se encontram quando ocupam a mesma posição ($S_A = S_B$).
- Quando dois corpos estiverem em MRU, pode-se fazer uso do conceito de velocidade relativa, pois facilita muito a resolução.
- Quando um corpo extenso (dimensões consideráveis) ultrapassar outro corpo extenso, o ΔS será a soma dos comprimentos envolvidos. Por exemplo, um trem ultrapassando uma ponte.
- Pedir a velocidade média de um corpo em MRU é o mesmo que pedir a velocidade desse movimento.



- Pedir a velocidade escalar média é o mesmo que perguntar qual seria um valor constante de velocidade com o qual um corpo percorreria o mesmo espaço, gastando o mesmo tempo de quando se moveu com velocidade de módulo variável.

Movimento uniformemente variado (MUV)

Chama-se de **movimento uniformemente variado** todo movimento em que a velocidade escalar varia quantidades iguais em tempos iguais, isto é, uniformemente ao longo do tempo. Não se pode esquecer que, quando há variação nesse valor, faz-se necessário introduzir mais uma grandeza neste estudo: a aceleração escalar **a**.

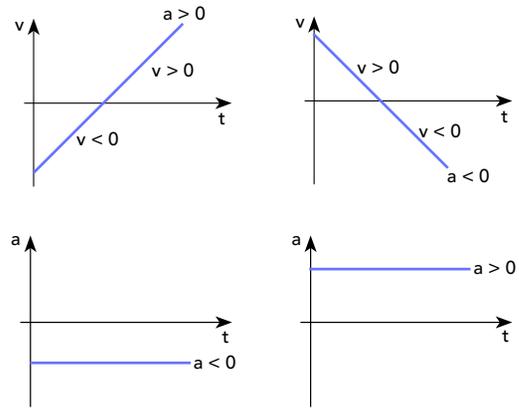
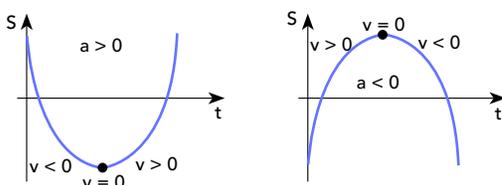
Matematicamente, o MUV é regido pelas seguintes fórmulas: MUV (a_T constante e $\neq 0$)

$$S = S_0 + v_0t + \frac{at^2}{2} \text{ ou } \Delta S = v_0t + \frac{at^2}{2}$$

$$v = v_0 + at \text{ ou } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S \text{ (equação de Torricelli)}$$

Analisando os gráficos, têm-se:



- Para fixar os conceitos estudados, escreva a função horária das posições de um corpo que está descrevendo um movimento retilíneo e uniformemente variado, ocupando uma posição inicial $S_0 = 10 \text{ m}$, com velocidade de módulo 10 m/s e aceleração escalar de módulo 5 m/s^2 :

- a) progressivo e acelerado: _____
- b) retrógrado e acelerado: _____
- c) progressivo e retardado: _____
- d) retrógrado e retardado: _____

- Escreva a função horária das velocidades dos movimentos uniformemente variados a seguir, a partir da função horária das posições:

- a) $S = -10 + 3t - \frac{7t^2}{2}$ _____
- b) $S = 10 - 5t + \frac{3t^2}{2}$ _____
- c) $S = -18 - 8t - 3t^2$ _____
- d) $S = 10 + 3t + 2t^2$ _____



Atividades para sala

1. Uma lebre e uma tartaruga decidem apostar uma corrida de 32 m. Exatamente às 12h, é dada a largada. A lebre dispara na frente, com velocidade constante de 5,0 m/s. A tartaruga "corre" com velocidade constante de 4,0 m/min, sem parar, até o fim do percurso. A lebre, percebendo quão lenta se movia a tartaruga, decide descansar após percorrer metade da distância total, e então adormece por 7 min 55s. Quando acorda, sai correndo com a mesma velocidade inicial, para tentar ganhar a corrida. O fim da história é conhecido. Qual é a vantagem de tempo da tartaruga sobre a lebre, na chegada, em segundos?
 - a) 1,4
 - b) 1,8
 - c) 3,2
 - d) 5,0
 - e) 6,4
2. João mora em São Paulo e tem um compromisso às 16h em São José dos Campos, distante 90 km de São Paulo. Pretendendo fazer uma viagem tranquila, saiu de São Paulo, no dia do compromisso, às 14h, planejando chegar ao local pontualmente no horário marcado. Durante o trajeto, depois de ter percorrido um terço do percurso com

velocidade média de 45 km/h, João recebeu uma ligação em seu celular pedindo que ele chegasse meia hora antes do horário combinado.



Para chegar ao local do compromisso no novo horário, desprezando-se o tempo parado para atender à ligação, João deverá desenvolver, no restante do percurso, uma velocidade média, em km/h, no mínimo, igual a

- a) 120. c) 108. e) 90.
b) 60. d) 72.

3. Alguns meios de transporte são realmente especiais, como o veículo chamado Fênix 2, uma cápsula de aço criada para resgatar, um a um, 33 mineiros chilenos que ficaram presos a 700 metros abaixo da superfície. Para o resgate, primeiramente, foi perfurado um túnel até a câmara onde se encontravam os mineiros. Em seguida, a Fênix 2 foi levada até essa câmara. Lá embaixo, a partir do instante em que um mineiro já estava posicionado dentro da cápsula, a subida da Fênix 2 pelo túnel demorava 16 minutos. É correto afirmar que, durante a subida da cápsula da câmara até a superfície, a velocidade média da Fênix 2 foi, aproximadamente,

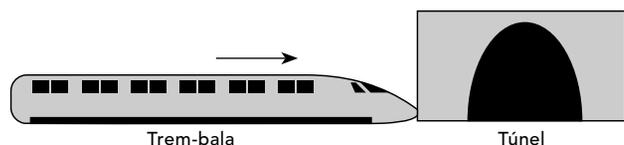
- a) 0,7 km/h. d) 3,6 km/h.
b) 2,6 km/h. e) 4,4 km/h.
c) 3,4 km/h.

4. Em uma prova de atletismo, um corredor, que participa da prova de 100 m rasos, parte do repouso, corre com aceleração constante nos primeiros 50 m e depois mantém a velocidade constante até o final da prova.

Sabendo que a prova foi completada em 10 s, calcule o valor da aceleração atingida pelo atleta no final da primeira metade da prova.

- a) 1,0 m/s² d) 2,25 m/s²
b) 1,2 m/s² e) 2,6 m/s²
c) 1,5 m/s²

5. Um trem-bala, viajando a 396 km/h, tem a sua frente emparelhada com o início de um túnel de 80 m de comprimento (veja figura a seguir). Nesse exato momento, o trem desacelera a uma taxa de 5 m/s².



Sabendo-se que o trem, que tem 130 m de comprimento, mantém essa desaceleração por todo o tempo em que atravessa completamente o túnel, é correto dizer que o trem irá gastar, para ultrapassá-lo totalmente, um tempo, em segundos, igual a

- a) 3,6. d) 1,8.
b) 2,0. e) 2,4.
c) 6,0.

6. A velocidade é uma grandeza que relaciona a distância percorrida e o tempo gasto para percorrê-la. A aceleração é uma grandeza que mede a rapidez com que a velocidade varia. Mais rápido e mais lento são percepções sensoriais. Tentamos medir com relógios tais variações e nos rebelamos, quando elas não concordam com a nossa percepção. Dizemos nunca com muita facilidade, dizemos sempre com muita facilidade, como se fôssemos fiéis a um momento.

“Mas o outro já está olhando para o lado.” (LUFT, 2014)

O que é constante e imutável em um momento não será mais no momento seguinte. Uma velocidade, em um momento, pode não ser a mesma em um momento seguinte. Dentre as situações a seguir, aquela em que o móvel apresenta maior módulo de aceleração é a que ele estava

- a) a 50 m/s e manteve essa velocidade durante 2,0 s.
b) a 20 m/s e, em 10 s, aumentou a sua velocidade para 40 m/s.
c) a 10 m/s e, em 2,0 s, diminuiu sua velocidade para zero.
d) a 40 m/s e, em 10 s, diminuiu sua velocidade para zero.
e) a 100 m/s e, em 40 s, diminuiu sua velocidade para 20 m/s.



Atividades propostas

1. Um candidato sai de sua residência para prestar vestibular, pretendendo percorrer a distância total até o local da prova em uma hora, conduzindo seu automóvel com velocidade média de 60 km/h. Após percorrer os primeiros 10 km do percurso em 10 minutos, percebe que esqueceu o documento de identificação e retorna para apanhá-lo. Sua mãe o espera no portão com o documento. Desprezando-se o tempo para receber o documento e manobrar o carro, para que esse candidato consiga chegar ao local da prova no horário previsto anteriormente, ele deverá desenvolver, no percurso de retorno à sua casa e ida até o local da prova, uma velocidade média, em km/h, igual a

- a) 72.
b) 78.
c) 84.
d) 90.
e) 98.

2. [...] A distância que um atleta de futebol percorre durante uma partida é, em média, 12 km para os homens e 10 km para as mulheres.

Disponível em: <<http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br>>. Acesso em: 30 jun. 2014. (adaptado)

As velocidades médias, para homens e mulheres, no decorrer dos 90 min, em um jogo de futebol, são, respectivamente,

- a) 114,3 m/min e 95,2 m/min.
b) 8,0 km/h e 6,7 km/h.
c) 266,7 m/min e 222,2 m/min.
d) 8,0 m/h e 6,7 m/h.
e) 16,0 m/h e 13,4 m/h.

3. O número de Mach é definido como a relação entre a velocidade do objeto em movimento, como um avião, e a velocidade do som no meio. A velocidade transônica está entre a velocidade sub e supersônica. O período transônico inicia quando começa a aparecer uma barreira de ar em volta das asas do avião. Quando finalmente o avião

ultrapassa a velocidade sônica, segue-se um forte estrondo sonoro. Nesse momento, o avião excede 1 Mach. A maior diferença de pressão passa para a frente da aeronave. Essa abrupta diferença de pressão é a chamada onda de choque, que se estende da traseira à dianteira com uma forma de cone. Essa onda de choque causa o "boom sônico" que se ouve logo após a passagem do avião. Quanto maior a velocidade, mais limitado é o denominado cone de Mach.

Podemos dizer que o texto anterior se refere ao avião com uma velocidade acima de

- a) 360 km/h, velocidade máxima aproximada de um carro de Fórmula 1.
- b) 1000 km/h, velocidade máxima aproximada do ar.
- c) 1200 km/h, velocidade máxima aproximada do som no ar.
- d) 2400 km/h, velocidade máxima aproximada do som no vácuo.
- e) 3400 km/h, velocidade máxima aproximada do som na água.

4. Furacões são ciclones tropicais que ocorrem no Oceano Atlântico e a leste do Oceano Pacífico Central. Um desses furacões, o Katrina, foi o pior que atingiu os Estados Unidos nos últimos anos.

Admita que o Katrina se movia em direção ao continente a uma velocidade constante de 24 km/h, com ventos de até 120 km/h. Nessas condições, quando o Katrina se encontrava a uma distância de 1200 km de uma cidade, foi acionado o sistema de alerta e vigilância de furacões do governo americano. Contado a partir desse instante, o tempo, em horas, que a população teve para se prevenir do furacão foi

- a) 10.
- b) 20.
- c) 30.
- d) 40.
- e) 50.

5. A instalação de turbinas eólicas é conveniente em locais cuja velocidade média anual dos ventos seja superior a 3,6 m/s.



O movimento do ar em um parque eólico foi monitorado observando-se a distância percorrida pelas partículas suspensas durante intervalos de tempos de duração irregular.

ΔS (m)	Δt (s)
-175	35
-90	18
-135	27

A partir de uma trajetória de origem convenientemente definida e supondo que o ar se movimenta com aceleração nula, das funções apresentadas, aquela que pode ser associada ao deslocamento do ar nessa região é

- a) $S = 20 - 5 \cdot t$.
- b) $S = -5 + 15 \cdot t$.
- c) $S = 10 - 25 \cdot t$.
- d) $S = -20 + 5 \cdot t$.
- e) $S = 15 - 30 \cdot t$.

6. Uma avenida teve seu limite de velocidade alterado de 80 km/h para 60 km/h. No limite de velocidade anterior, um automóvel, deslocando-se à velocidade máxima permitida, com o trânsito livre e sem parar em semáforos, completava o trajeto da avenida em 6,0 minutos. Respeitando o novo limite de velocidade e nas mesmas condições de trânsito anteriores, o automóvel percorrerá a mesma avenida em um intervalo mínimo de tempo, em minutos, igual a
- a) 8,0.
 - b) 9,5.
 - c) 8,5.
 - d) 7,0.
 - e) 6,5.

Texto para a questão 7.

Acidente entre dois ônibus na Estrada do Oriente deixa cerca de 40 feridos, diz polícia

Acidente entre dois ônibus na marginal da Estrada do Oriente, por volta de 8h desta sexta-feira (03/02/2012), deixou cerca de 40 passageiros feridos, segundo a Polícia Militar. Algumas vítimas ficaram presas nas ferragens, mas foram retiradas com vida, de acordo com os bombeiros. [...]

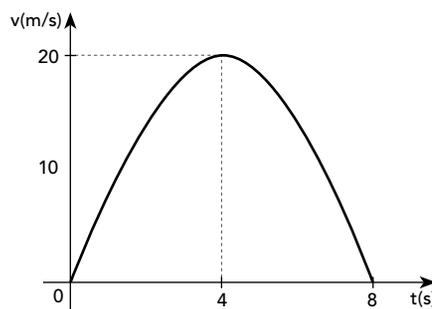
O cobrador de um dos coletivos disse que o ônibus da frente teria freado de repente para não bater em um carro que reduziu para entrar em um posto de gasolina, e o segundo não conseguiu parar a tempo. "O ônibus estava abaixo da velocidade da via (máxima 60 km/h e, segundo o motorista, estava a 40 km/h). O da frente freou de uma vez, por isso aconteceu o acidente. Ele até tentou desviar de um carro, mas não deu", relatou o cobrador.

Um perito da Polícia Civil confirmou a versão do cobrador. "É provável que os veículos não tenham mantido a distância mínima de segurança entre si", explicou. Segundo ele, testemunhas e passageiros disseram que um carro de passeio reduziu a velocidade e provocou o acidente.

Segundo ele: "Todo guizador profissional deveria aprender nos cursos de direção defensiva que a distância necessária para a completa parada de um veículo é, mantidas as mesmas condições de freagem, diretamente proporcional ao quadrado da velocidade que o veículo tem no início da frenagem".

Disponível em: <<http://www.goo.gl/jo0lyQ>>. (adaptado)

7. Considere que, na situação descrita, o ônibus que, segundo o motorista, vinha a 40 km/h, precisaria de 10 m para parar por completo, supondo que a causa de retardamento do veículo seja exclusivamente o atrito. Se ele estivesse com o dobro da velocidade, precisaria de quantos metros para parar por completo, mantidas todas as condições de frenagem?
- a) 20 m
 - b) 25 m
 - c) 30 m
 - d) 35 m
 - e) 40 m
8. Considere um carro que se movimenta ao longo de uma pista retilínea. O gráfico a seguir descreve a velocidade do carro em função do tempo, segundo um observador em repouso sobre a calçada.



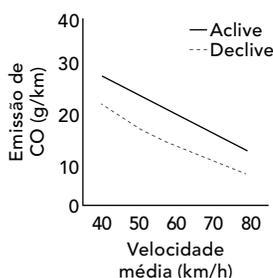
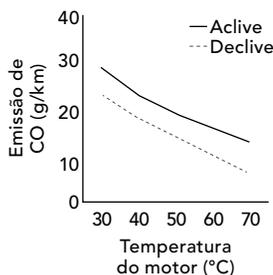
Em relação a essa situação, assinale a alternativa correta.

- O movimento é uniformemente variado.
- O carro realiza um movimento retilíneo uniforme.
- Ao final do movimento ($t = 8$ s), o carro retorna à sua posição de origem ($t = 0$).
- O carro está freando no intervalo $4 \text{ s} < t < 8 \text{ s}$.
- Em $t = 4$, o carro inverte o sentido do seu movimento.

9. Para garantir a segurança no trânsito, deve-se reduzir a velocidade de um veículo em dias de chuva, senão vejamos: um veículo em uma pista reta, asfaltada e seca, movendo-se com velocidade de módulo 36 km/h (10 m/s), é freado e desloca-se 5,0 m até parar. Nas mesmas circunstâncias, só que com a pista molhada sob chuva, necessita de 1,0 m a mais para parar. Considerando-se a mesma situação (pista seca e molhada) e agora a velocidade do veículo de módulo 108 km/h (30 m/s), a distância a mais para parar, em metros, com a pista molhada em relação à pista seca, é

- 6.
- 2.
- 1,5.
- 9.
- 11.

10. Um pesquisador avaliou o efeito da temperatura do motor (em velocidade constante) e da velocidade média de um veículo (com temperatura do motor constante) sobre a emissão de monóxido de carbono (CO) em dois tipos de percurso, aclive e declive, com iguais distâncias percorridas em linha reta. Os resultados são apresentados nas duas figuras.



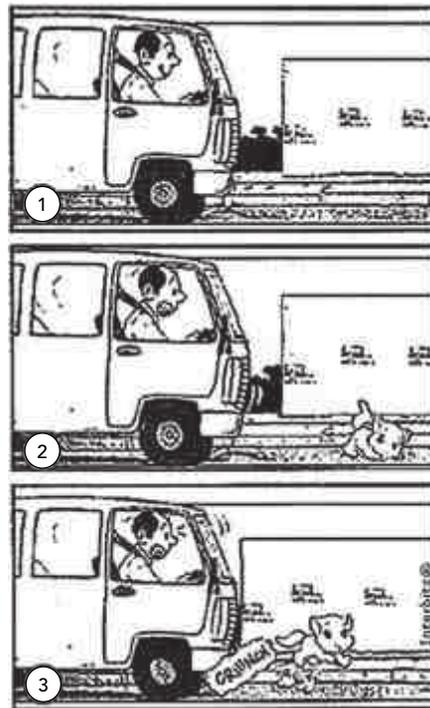
A partir dos resultados, a situação em que ocorre maior emissão de CO é aquela na qual o percurso é feito com o motor

- aquecido, em menores velocidades médias e em pista em declive.
- aquecido, em maiores velocidades médias e em pista em aclive.
- frio, em menores velocidades médias e em pista em declive.
- frio, em menores velocidades médias e em pista em aclive.
- frio, em maiores velocidades médias e em pista em aclive.

11. O tempo de reação t_R de um condutor de um automóvel é definido como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o condutor se depara com uma situação de perigo e o instante em que ele aciona os freios.

(Considere d_R e d_F , respectivamente, as distâncias percorridas pelo veículo durante o tempo de reação e de frenagem; e d_T , a distância total percorrida. Então, $d_T = d_R + d_F$).

Um automóvel trafega com velocidade constante de módulo $v = 54,0$ km/h em uma pista horizontal. Em dado instante, o condutor visualiza uma situação de perigo, e seu tempo de reação a essa situação é de $\frac{4}{5}$ s, como ilustrado na sequência de figuras a seguir.



Considerando que a velocidade do automóvel permaneceu inalterada durante o tempo de reação t_R , é correto afirmar que a distância d_R é de

- 3,0 m.
- 12,0 m.
- 43,2 m.
- 60,0 m.
- 67,5 m.

12. Muitos acidentes acontecem nas estradas porque o motorista não consegue frear seu carro antes de colidir com o que está à sua frente. Analisando as características técnicas fornecidas por uma revista especializada, encontra-se a informação de que um determinado carro consegue diminuir sua velocidade, em média, 5 m/s a cada segundo. Se a velocidade inicial desse carro for 90 km/h (25 m/s), a distância necessária para ele conseguir parar será de, aproximadamente,

- 18,5 m.
- 25,0 m.
- 31,5 m.
- 45,0 m.
- 62,5 m.

FÍSICA

Ciências da Natureza e suas Tecnologias

FÍSICA 1

Módulo 1

1. A 2. C 3. A 4. A 5. A
6. E 7. D 8. B 9. A 10. E
11. D 12. B

Módulo 2

1. D 2. D 3. B 4. B 5. E
6. C 7. C 8. E 9. A 10. B
11. D 12. E

Módulo 3

1. A 2. A 3. E 4. A 5. D
6. D 7. C 8. D 9. D 10. E
11. A 12. C

FÍSICA 2

Módulo 1

1. E 2. C 3. A 4. B 5. D
6. C 7. D 8. E 9. B 10. A
11. C 12. A 13. D 14. B 15. D
16. B 17. E 18. C

Módulo 2

1. D 2. B 3. C 4. C 5. E
6. B 7. E 8. D 9. D 10. C
11. C 12. A

Módulo 3

1. E 2. A 3. A 4. A 5. E
6. A 7. B 8. E 9. D 10. A
11. D 12. D

FÍSICA 3

Módulo 1

1. E 2. E 3. D 4. B 5. D
6. B 7. C 8. D 9. D 10. B
11. C 12. B 13. B 14. E 15. C
16. E 17. B 18. C

Módulo 2

1. E 2. C 3. D 4. E 5. C
6. D 7. D 8. E 9. A 10. C
11. D 12. B

Módulo 3

1. C 2. A 3. C 4. E 5. D
6. C 7. A 8. E 9. A 10. D
11. D 12. C

FÍSICA 4

Módulo 1

1. B 2. C 3. C 4. B 5. C
6. D 7. E 8. A 9. B 10. B
11. B 12. C

Módulo 2

1. E 2. A 3. A 4. D 5. D
6. B 7. E 8. D 9. D 10. D
11. A 12. B 13. A 14. B 15. C
16. E 17. A 18. D

Módulo 3

1. C 2. B 3. C 4. E 5. A
6. A 7. E 8. D 9. D 10. D
11. B 12. E



Utilize um leitor de QR Code do seu tablet ou smartphone e faça download do aplicativo SAS App.



Utilize um leitor de QR Code ou acesse www.portalsas.com.br para visualizar os gabaritos.



Referências

Constam, em nosso material didático, atividades escolhidas dos exames vestibulares das seguintes instituições de ensino:

AFA – Academia da Força Aérea Brasileira
CEFET-AL – Centro Federal de Educação Tecnológica de Alagoas
CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEFET-PE – Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
CEFET-PR – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
CESGRANRIO – Centro de Ensino Superior do Grande Rio
CN – Colégio Naval
CPS – Centro de Políticas Sociais
EEM-SP – Escola de Engenharia Mauá
EFOA-MG – Escola de Farmácia e Odontologia de Alfenas
ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio
EPUSP-SP – Escola Politécnica da USP de São Paulo
ESAF – Escola de Administração Fazendária
ESPM – Escola Superior de Propaganda e Marketing
ETFC – Escola Técnica Federal do Ceará
FAAP – Fundação Armando Álvares Penteado
FAFI-MG – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Sete Lagoas
FAMECA – Faculdade de Medicina de Catanduva
FATEC-SP – Faculdade de Tecnologia de São Paulo
FCC – Fundação Carlos Chagas
FCM-MG – Faculdade de Ciências Médicas
FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia
FEI – Faculdade de Engenharia Industrial
FESP-PE – Fundação de Ensino Superior de Pernambuco
FFCMPA – Fundação Faculdade Federal de Ciências Médicas de Porto Alegre
FGV – Fundação Getúlio Vargas
FIUBE-MG – Faculdades Integradas de Uberaba
FMJ – Faculdade de Medicina de Jundiá
FMU/FIAM-SP – Faculdades Metropolitanas Unidas/Faculdades Integradas Alcântara Machado
FRF – Fundação Ricardo Franco
FURG – Universidade Federal do Rio Grande
FUVEST – Fundação Universitária para o Vestibular
GE – Guia do Estudante
IBMEC – Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais
IFCE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
IFMG – Instituto Federal Minas Gerais
IME – Instituto Militar de Engenharia
INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INSPER – Instituto de Ensino e Pesquisa
ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica
MACKENZIE – Universidade Presbiteriana Mackenzie
OBF – Olimpíada Brasileira de Física
OPF – Olimpíada Paulista de Física
OSEC – Organização Santamarense de Educação e Cultura
POLI – Escola Politécnica
PUCCAMP – Pontifícia Universidade Católica de Campinas/SP
PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
PUC-SP – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina
UEAM – Universidade Estadual do Amazonas
UECE – Universidade Estadual do Ceará
UEFS-BA – Universidade Estadual de Feira de Santana
UEG – Universidade Estadual de Goiás
UEL – Universidade Estadual de Londrina
UEMG – Universidade Estadual de Minas Gerais
UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
UEM – Universidade Estadual de Maringá
UEPB – Universidade Estadual da Paraíba
UEPG – Universidade Estadual de Ponta Grossa
UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UESPI – Universidade Estadual do Piauí
UFABC – Universidade Federal do ABC
UFAC – Universidade Federal do Acre
UFAL – Universidade Federal de Alagoas
UFAM – Universidade Federal do Amazonas
UFBA – Universidade Federal da Bahia
UFC – Universidade Federal do Ceará
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UFF-RJ – Universidade Federal Fluminense
UFG – Universidade Federal de Goiás
UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora
UFLA-MG – Universidade Federal de Lavras
UFMA – Universidade Federal do Maranhão
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UFMS – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
UFPA – Universidade Federal do Pará
UFPB – Universidade Federal da Paraíba
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UFPEL-RS – Universidade Federal de Pelotas
UFPI – Universidade Federal do Piauí
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRR – Universidade Federal de Roraima
UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos
UFSJ-MG – Universidade Federal de São João Del Rei
UFSM-RS – Universidade Federal de Santa Maria
UFSS-SC – Universidade Federal de Fronteira Sul do Estado de Santa Catarina
UFTPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UFU-MG – Universidade Federal de Uberlândia
UFV-JM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
UFV-MG – Universidade Federal de Viçosa
UNAERP – Universidade de Ribeirão Preto
UNB – Universidade de Brasília
UNCISAL – Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas
UNEB – Universidade do Estado da Bahia
UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso
UNESP – Universidade Estadual Paulista
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
UNIFAL-MG – Universidade Federal de Alfenas
UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo
UNIFOR – Universidade de Fortaleza
UNIMAR-SP – Universidade de Marília
UNIMES – Universidade Metropolitana de Santos
UNIPA-MG – Universidade de Alegre
UNIRIO – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
UNISINOS-RJ – Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UNITAU-SP – Universidade de Taubaté
UNIVALI-SC – Universidade do Vale do Itajaí
UPE – Universidade de Pernambuco
USJT-SP – Universidade de São Judas Tadeu
USP – Universidade de São Paulo
UTF-PR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UVA – Universidade Estadual do Vale do Acaraú
VUNESP – Vestibular da Universidade Federal Paulista