

6 Energia cinética

Associamos aos corpos em movimento, ou seja, com velocidade em relação a um referencial, certa energia de movimento, denominada **energia cinética**. De onde vem essa energia?

Para responder, vamos imaginar um barco a vela em repouso num lago. Se um vento forte começar a soprar, surgirá uma força, que poderá tirar o barco do repouso (fig. 15). Caso isso ocorra, essa força modificará o estado de movimento do barco, realizando um trabalho sobre ele, pois o barco começará a se deslocar. Podemos associar certa quantidade de energia cinética transferida ao barco por meio do trabalho exercido pela força do vento. Em outras palavras, os corpos modificam sua quantidade de energia cinética quando sobre eles é realizado determinado trabalho. Para que um corpo em repouso em relação a um referencial, com energia cinética nula, adquira movimento, é necessário que uma força lhe transfira energia realizando trabalho.

Assim, podemos obter a expressão da energia cinética de um corpo, inicialmente em repouso, por meio do cálculo do trabalho realizado sobre ele pela força resultante \vec{F}_R , suposta constante, em um deslocamento $\vec{\Delta s}$ (fig. 16).

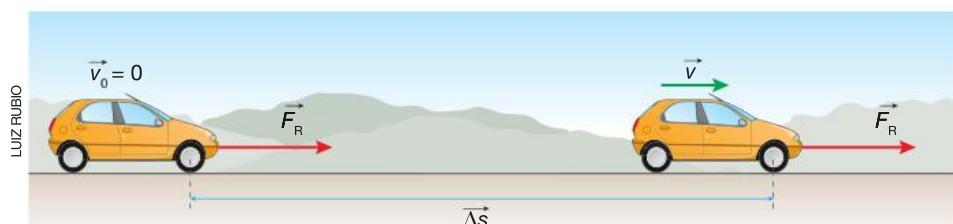


Figura 16 • Deslocamento de um móvel, inicialmente em repouso, devido à ação da força resultante, \vec{F}_R .

Temos:

$$\mathcal{Z}_{F_R} = F_R \cdot \Delta s \cdot \cos 0^\circ$$

Mas pela 2ª lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a$$

Então:

$$\mathcal{Z}_{F_R} = m \cdot a \cdot \Delta s$$

Pela equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2 a \Delta s$$

Logo, para $v_0 = 0$, temos:

$$a = \frac{v^2}{2 \Delta s}$$

Substituindo na expressão do trabalho, temos:

$$\mathcal{Z}_R = \frac{m v^2 \Delta s}{2 \Delta s} \Rightarrow \mathcal{Z}_R = \frac{mv^2}{2}$$

A quantidade de trabalho dada pela expressão acima equivale à quantidade de energia necessária para que o móvel adquira a velocidade de módulo v , partindo do repouso. Essa energia, associada ao movimento, é denominada **energia cinética**.

$$E_C = \frac{mv^2}{2}$$

A energia cinética é medida nas mesmas unidades do trabalho, ou seja, no SI, é medida em joules (J).



BJORN SVENSSON/AGEKEYSTONE BRASIL

7 Trabalho e energia cinética

Imagine um ciclista em movimento que, ao perceber um buraco na pista, aciona os freios para parar a bicicleta.

Suponhamos que a bicicleta tenha velocidade de módulo v_0 quando começa o processo de retardamento e que, ao travar as rodas, derrape e, por falta de maior aderência dos pneus ao solo, não consiga parar, atingindo o buraco com velocidade de módulo $v < v_0$. Em outras palavras, no instante em que os freios são acionados, a bicicleta possuía certa energia cinética inicial (E_{ci}), relativa à velocidade v_0 . Como a força resultante que reduz a velocidade da bicicleta é composta, sobretudo, pela força de atrito entre os pneus e o solo, essa força realiza trabalho resistente, enquanto houver deslocamento da bicicleta. Esse trabalho tem o objetivo de diminuir a energia cinética final (E_{cf}), para um valor menor do que a inicial (E_{ci}).

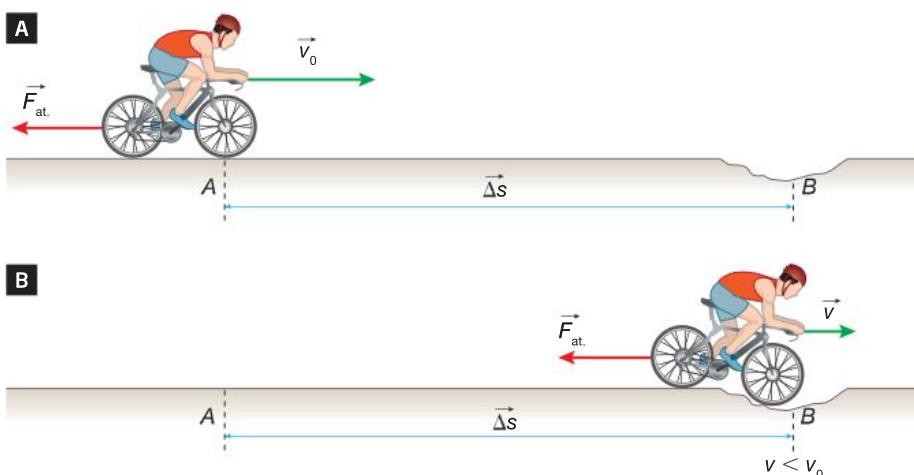


Figura 17 • (A) Ao passar pelo marco A da pista, o ciclista vê o buraco e aciona o freio. (B) Por não conseguir parar, o ciclista atinge o buraco com velocidade de módulo $v < v_0$. Sua energia cinética diminuiu.

Podemos afirmar, então, que a quantidade de energia cinética dissipada no deslocamento da bicicleta até atingir o buraco corresponde ao trabalho realizado pela força de atrito sobre ela. Essa ideia estabelece uma relação importante entre trabalho e energia cinética, que também é válida no caso de o ciclista acelerar na tentativa de saltar o buraco. Se o ciclista decidir tentar essa façanha, deverá pedalar vigorosamente, exercendo sobre a bicicleta uma força de maior intensidade do que a força de atrito que atua sobre ela. A resultante não nula provocará um aumento em sua velocidade. Assim, ao atingir o buraco, ele terá aumentado sua energia cinética para um valor (E_{ci}), nesse caso maior do que (E_{ci}).

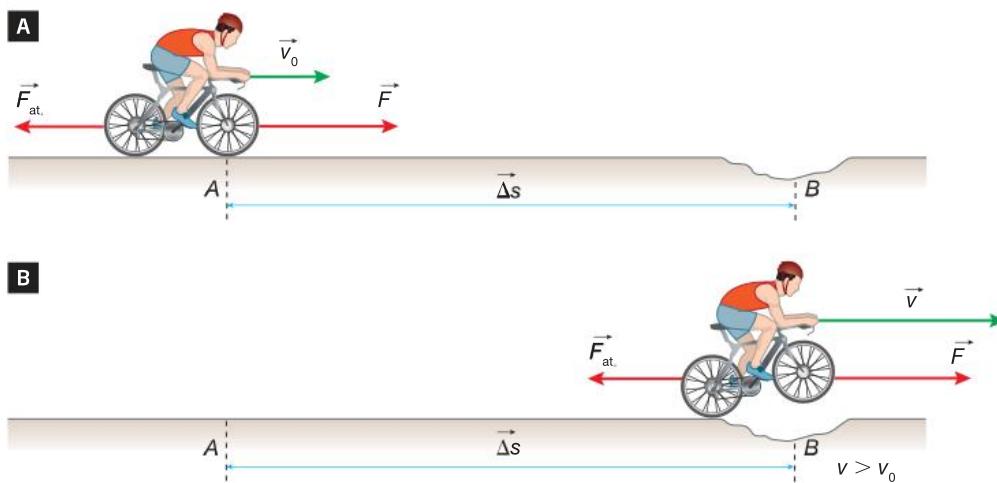


Figura 18 • (A) Ao passar pelo marco A da pista, o ciclista vê o buraco e decide saltá-lo, aumentando a força no pedal da bicicleta. (B) O ciclista chega ao buraco com velocidade de módulo $v > v_0$. Sua energia cinética aumentou.

Em ambas as situações, a variação da energia cinética associada ao ciclista será equivalente ao trabalho realizado pela força resultante.

$$\zeta = (E_{C_f}) - (E_C) \Rightarrow \zeta = \Delta E_C$$

A ideia de que um sistema só ganha ou perde energia se houver uma força resultante realizando trabalho sobre ele é válida e pode ser generalizada. Forças constantes ou não, internas ou externas ao sistema, ao realizarem trabalho sobre o corpo, provocam aumento ou perda de energia.

Já sabe responder?

Por que trafegar em alta velocidade é sempre tão perigoso?



QUESTÕES RESOLVIDAS

R6 Qual é a energia cinética que pode ser associada a um corpo de 2 kg que, em queda, desenvolve, em certo momento, velocidade de 12 m/s?

► Resolução

No momento descrito, a energia cinética do corpo de massa 2 kg é dada por:

$$E_C = \frac{mv^2}{2} = \frac{2 \cdot 12^2}{2} \therefore E_C = 144 \text{ J}$$

R7 Qual dos dois automóveis possui maior valor de energia cinética: um carro popular de 800 kg e velocidade 108 km/h, ou um caminhão de 4 toneladas e velocidade de 36 km/h?

► Resolução

A energia cinética associada a cada móvel pode ser assim calculada, levando em consideração as unidades do SI:

$$v_{\text{carro}} = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$$

$$m_{\text{caminhão}} = 4 \text{ T} = 4.000 \text{ kg}$$

$$v_{\text{caminhão}} = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$$

Portanto:

$$E_{\text{carro}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{800 \cdot 30^2}{2} \therefore E_{\text{carro}} = 3,6 \times 10^5 \text{ J}$$

$$E_{\text{caminhão}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{4.000 \cdot 10^2}{2}$$

$$\therefore E_{\text{caminhão}} = 2,0 \times 10^5 \text{ J}$$

Portanto, a energia cinética do automóvel popular, nas velocidades descritas, é maior do que a energia cinética associada ao movimento do caminhão.

R8 Um carro tenta frear antes de bater em uma caixa caída na pista. Ele trava as rodas, deixando no asfalto uma marca de 30 m de comprimento. Va-

mos supor que o carro não consiga parar e que no momento do choque com a caixa ele tenha velocidade de 15 m/s. Conhecendo o coeficiente de atrito entre os pneus e a pista ($\mu = 0,6$), supostamente horizontal, como é possível saber se o carro, no momento em que o motorista aciona o freio, estava acima do limite de velocidade (80 km/h) permitido na estrada?

► Resolução

Ao diminuir a velocidade do carro, a força de atrito realiza um trabalho contra o deslocamento do carro, diminuindo sua energia cinética. O carro possuía energia cinética (E_C) no início da frenagem. Parte dessa energia foi dissipada por meio do trabalho da força de atrito. A energia restante (E_{C_f}) está relacionada à velocidade de 15 m/s que ele ainda tem ao se chocar com a caixa. Assim:

$$\zeta_{F_{\text{at}}} = \Delta E_C \Rightarrow \zeta_{F_{\text{at}}} = (E_{C_i}) - (E_{C_f})$$

mas:

$$\zeta_{F_{\text{at}}} = F_{\text{at}} \cdot \Delta s \cdot \cos 180^\circ \Rightarrow \zeta_{F_{\text{at}}} = \mu \cdot N \cdot \Delta s \cdot (-1)$$

em que: $\Delta s = 30 \text{ m}$

Então, sabendo que $N = P$, temos:

$$0,6 \cdot m \cdot 10 \cdot 30 \cdot (-1) = m \cdot \frac{15^2}{2} - m \cdot \frac{v_i^2}{2}$$

Dividindo a igualdade por m :

$$-6 \cdot 30 = \frac{225}{2} - \frac{v_i^2}{2} \Rightarrow v_i^2 = 585$$

$$\therefore v_i \approx 24,2 \text{ m/s} \approx 87,1 \text{ km/h}$$

Logo, o carro estava trafegando em velocidade superior ao limite permitido.

QUESTÕES PROPOSTAS

Lembre-se: resolva as questões no caderno.

- 9** Parado em uma estação de trem, você vê seu amigo partir em viagem e comenta que ele adquiriu energia cinética. No entanto, na opinião dele, sua energia cinética não sofreu nenhuma variação. Qual dos dois tem razão: você ou seu amigo? Justifique.
- 10** Se um carro, movendo-se com velocidade de módulo v , passa a se mover com velocidade de módulo $2v$, o que ocorre com o valor de sua energia cinética? E se ele triplicar o módulo da velocidade?
- 11** Uma bola de futebol de massa 400 g em repouso é chutada e passa a se mover com velocidade de módulo 100 km/h. Simultaneamente, uma bola de tênis de massa 60 g é rebatida adquirindo a mesma velocidade da bola de futebol. Qual das duas bolas precisará perder mais energia para parar? Se você tivesse que apanhar uma delas, qual seria a opção mais segura? Por quê?
- 12** Imagine um carro se movendo à velocidade de 72 km/h. Outro veículo idêntico com velocidade de 108 km/h passa pelo primeiro no exato instante em que fica visível um grande buraco na pista. Por que podemos afirmar que a distância percorrida pelo segundo veículo até parar será maior do que a do primeiro? Utilize seus conhecimentos de trabalho e energia cinética para responder e suponha que ambos estejam sujeitos à mesma força de atrito.
- 13** Um automóvel se move em uma estrada plana com velocidade acima do permitido, quando seu condutor percebe um caminhão, parado

no meio da pista, distante 80 m dele. Passado o tempo de reação do motorista (0,6 segundo), ele aciona os freios no instante em que o carro está a 126 km/h. Supondo que o coeficiente de atrito entre os pneus e a pista seja 0,8, verifique se é possível que o carro não colida com o caminhão. (Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- 14** (Fuvest-SP) Em uma competição de salto em distância, um atleta de 70 kg tem, imediatamente antes do salto, uma velocidade na direção horizontal de módulo 10 m/s. Ao saltar, o atleta usa seus músculos para empurrar o chão na direção vertical, produzindo uma energia de 500 J, sendo 70% desse valor na forma de energia cinética. Imediatamente após se separar do chão, o módulo da velocidade do atleta é mais próximo de:
- a) 10,0 m/s
 - b) 10,5 m/s
 - c) 12,2 m/s
 - d) 13,2 m/s
 - e) 13,8 m/s
- 15** Um projétil de massa 10 g é atirado contra uma parede com 20 cm de espessura, atingindo-a com velocidade de 400 m/s. O projétil, apesar da força de resistência da parede, consegue atravessá-la e emerge dela com velocidade de 50 m/s. Pergunta-se:
- a) A energia cinética do projétil sofreu variação? Em caso afirmativo, qual é a grandeza física responsável por essa variação?
 - b) Qual é o trabalho da força, suposta constante, de resistência da parede?
 - c) Qual é a intensidade da força da resistência encontrada no item **b**?

Aproveite o exercício 13 para discutir com os alunos aspectos relacionados à educação para o trânsito, enfatizando os perigos de dirigir acima do limite de velocidade. Aborde também a variação no tempo de reação provocada pela ingestão de bebidas alcoólicas.

Para saber mais Saber físico e tecnologia

Energia eólica

Denomina-se **energia eólica** a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação do vento em energia cinética de rotação. Para a geração de eletricidade, empregam-se **turbinas eólicas**, também denominadas **aerogeradores**. Já para trabalhos mecânicos, como bombeamento de água ou para girar o moedor transformando o milho em farinha, usam-se **cata-ventos** e **moinhos**.



Aerogerador multipás.

Aero gerador multipás ou cata-vento

Os aero geradores de pás múltiplas, ou cata-ventos, têm de 16 a 32 pás e chegam a 15 m de altura. São mais usados para o bombeamento de água e produzem baixa potência por causa do número elevado de pás, que dificultam a sua movimentação.

Aero geradores de eixo horizontal

Dependem da direção do vento e podem ter uma, duas, três ou quatro pás. Atualmente, os aero geradores de grande porte mais utilizados na geração de energia elétrica têm três pás. O vento gira as lâminas largas das pás, que acionam os geradores produzindo eletricidade.

Aspectos positivos e negativos

Todas as formas de geração de energia elétrica provocam algum tipo de impacto ambiental. A energia eólica não é diferente, veja na tabela a seguir.



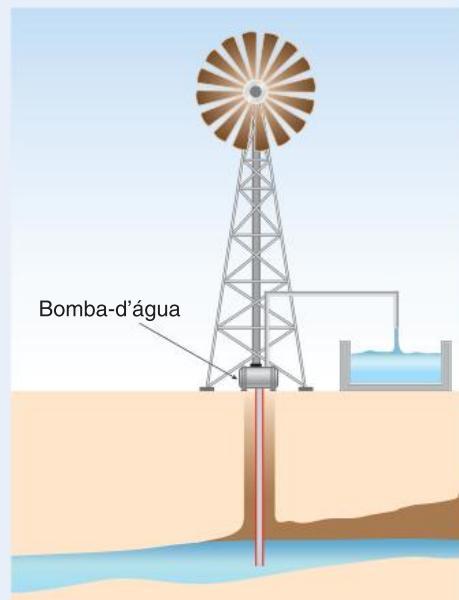
MAURICIO SIMONETTI/PULSAR IMAGENS

Parque gerador de energia eólica em Osório, RS.

Energia eólica

Aspectos positivos	Aspectos negativos
Não produz resíduos poluentes.	Poluição sonora.
O sistema é bastante durável e precisa de pouca manutenção.	As pás das turbinas produzem sombras e reflexos móveis que também são indesejáveis nas áreas residenciais.
Apresenta maior potencial de crescimento no Brasil.	Em fazendas eólicas pode ocorrer mortalidade de aves pelo impacto nas pás das turbinas.
Pode levar a eletrificação para regiões remotas.	O recurso eólico apresenta variações, pois os ventos não são constantes.

Fontes: <<http://www.dee.feis.unesp.br/usinaecoeletrica/>>;
<[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06_Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06_Energia_Eolica(3).pdf)>. Acessos em: 19 nov. 2015.



Cata-ventos podem ser utilizados no bombeamento de água.

AMPLIANDO SUA LEITURA

A potência gerada por um aero gerador de eixo horizontal pode variar bastante, dependendo das dimensões das pás e da torre. Em maio de 2012, foi inaugurado em um parque próximo à cidade de Saint-Nazaire, sudoeste da França, um aero gerador com pás de 73,5 m de comprimento e torre de 75 m de altura, capaz de gerar 6 MW de potência.

- Lembrando que a usina de Itaipu Binacional tem potência instalada de 14.000 MW, calcule quantos desses aero geradores seriam necessários para gerar essa potência.



No Suplemento, sugerimos uma questão a ser proposta aos alunos ao fim da leitura.

CAPÍTULO 18

Energia potencial

ou: É possível armazenar energia escalando uma montanha?

S4

Ao escalar uma montanha, o alpinista adquire determinada altura em relação ao solo; portanto, seu peso realizou trabalho. Essa realização de trabalho está associada à energia potencial gravitacional. Então, apesar do grande esforço, o alpinista, ao atingir o cume da montanha, terá ganhado quantidade significativa de energia na forma de energia gravitacional.

Figura 1 •
Observando as fotos, percebemos que a energia associada à altura ou à deformação de um sistema elástico é a energia potencial.



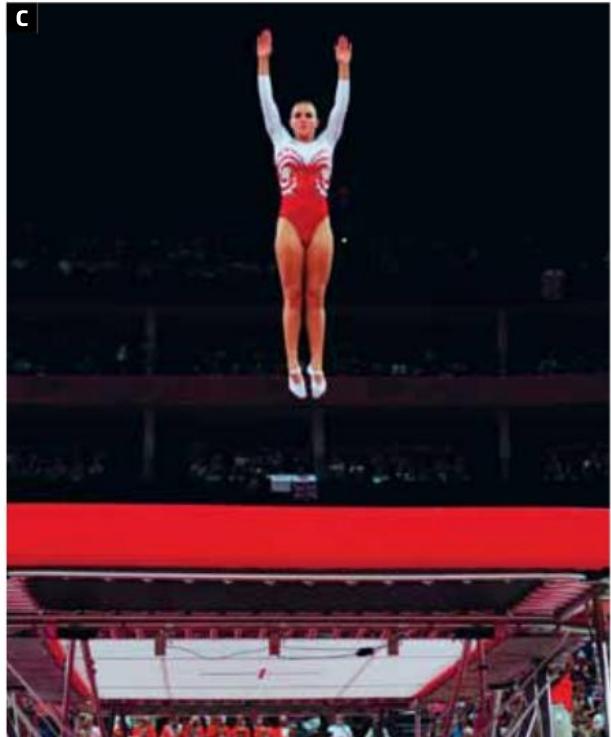
GERSON GERLOFF/PULSAR IMAGENS

ou: É possível armazenar energia escalando uma montanha?

O Suplemento apresenta orientações para o trabalho com a questão introdutória.

1 Introdução

Uma flecha adquire movimento após ser lançada do arco (fig. 1A). Uma criança desliza cada vez mais rápido em um escorregador (fig. 1B). Uma atleta salta em uma cama elástica que a empurra para o alto (fig. 1C). O que a flecha, a criança e a atleta têm em comum que as torna capazes de entrar em movimento? No caso da criança, é a distância até o chão; no caso da flecha e da atleta, é a deformação provocada, respectivamente, no arco e na cama elástica. Em outras palavras, é a altura da criança em relação ao solo que garante a aquisição do movimento quando ela se solta e desce pelo escorregador. Se ela estivesse rente ao chão, o movimento não ocorreria. Os movimentos da flecha e da atleta estão associados a certa compressão ou distensão do sistema elástico, seja ele um arco, uma cama elástica, seja, em alguns casos, uma mola. Portanto, há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento, associada à altura ou à deformação elástica. Quando isso ocorre, o corpo tem o que se denomina **energia potencial**.



RONALD MARTINEZ/GETTY IMAGES



PAUL MANSFIELD
PHOTOGRAPHY
GETTY IMAGES

2 Energia potencial gravitacional (E_{pg})

Quando uma pessoa, depois de ter se abandonado de um trampolim, atinge a água de uma piscina, seu peso realizou trabalho. A energia cinética adquirida pela pessoa até se chocar com a água é proveniente do trabalho do seu peso. Dizemos que, ao subir as escadas até o trampolim, a pessoa acumula energia potencial gravitacional, que se transforma em energia cinética depois que ela se abandona do trampolim, pois ela terá velocidade não nula (fig. 2) ao atingir a água.

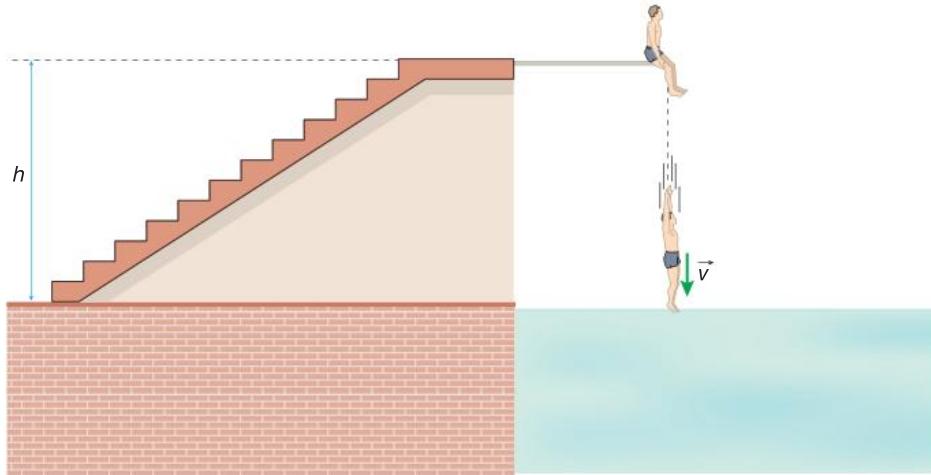


Figura 2 • Ao se abandonar, a pessoa tem energia potencial gravitacional relativa à altura h do trampolim. Ao atingir a água, ela possui energia cinética, pois tem velocidade.

A energia associada a um corpo de massa m que está a determinada altura h em relação a um nível de referência é denominada **energia potencial gravitacional** e é dada por:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$

No SI, a unidade de E_{pg} é o joule (J).

A expressão algébrica para calcular a energia potencial gravitacional é equivalente àquela usada para determinar o trabalho da força peso em um deslocamento $\Delta s = h$. Assim:

$$\mathcal{Z} = F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha$$

Se a força é o peso e o deslocamento, Δs , é h , temos:

$$\mathcal{Z} = P \cdot h \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow \mathcal{Z}_R = m \cdot g \cdot h$$

Assim como o trabalho da força peso, a energia potencial gravitacional não depende da trajetória descrita pelo corpo.

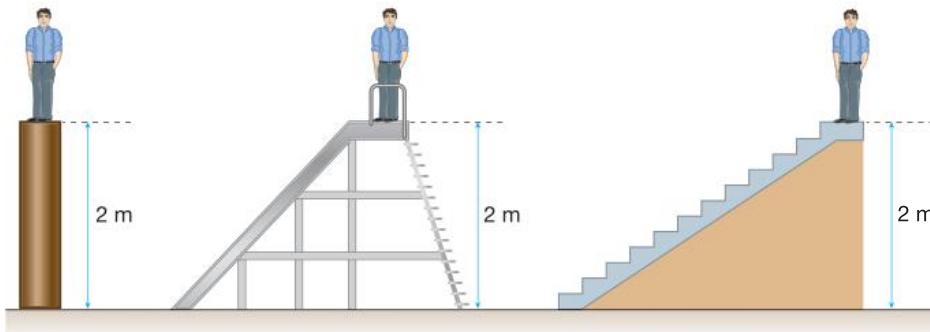


Figura 3 • A energia potencial gravitacional do homem é a mesma no alto da coluna, na extremidade do escorregador ou no último degrau da escada, ainda que o formato das trajetórias para chegar ao chão seja diferente. O trabalho realizado pelo peso só depende da altura, que em qualquer um dos casos é 2 m.

3 Energia potencial elástica (E_{pel})

Atualmente, muitas academias de ginástica vêm oferecendo o método Pilates para melhorar o condicionamento físico, a postura e as dores causadas por problemas ortopédicos. Esse método utiliza aparelhos com molas e tiras de couro que devem ser alongadas e, a seguir, soltas, para movimentar braços e pernas (fig. 4). Em um *bungee-jumping*, o elástico, ao deformar, garante a emoção do salto e diminui a velocidade da pessoa presa à sua extremidade, mantendo a segurança da aventura (fig. 5). Um estilingue, dependendo do elástico e de quanto é esticado, consegue lançar um objeto muito longe.



Figuras 4 e 5 • Assim como as molas deformadas pelos praticantes dos exercícios de Pilates, o elástico do *bungee-jumping* armazena energia ao ser alongado.

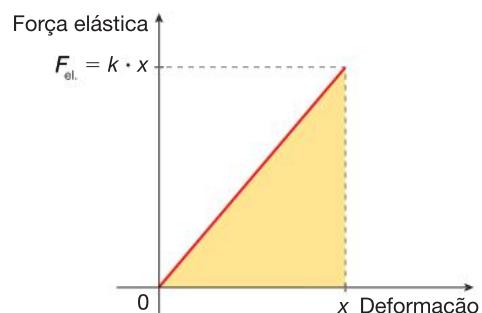


Um sistema elástico, como o estilingue ou o aparelho de Pilates, acumula energia quando sofre uma deformação. A energia armazenada por uma mola ou um elástico está associada ao trabalho que a força elástica realiza quando restitui o sistema à sua condição natural, ou seja, sem deformação. Retornando ao comprimento natural, o sistema elástico pode colocar em movimento objetos ou corpos presos à sua extremidade livre. Em outras palavras, o trabalho da força elástica pode modificar o estado de movimento dos corpos transferindo a eles energia cinética. Para uma mola de constante elástica k , deformada de um comprimento x , a energia armazenada é denominada energia potencial elástica e é dada por:

$$E_{pel} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

No SI, a unidade de E_{pel} é o joule (J).

A expressão algébrica que determina a energia potencial elástica equivale àquela que calcula o trabalho da força elástica, lembrando que se trata de uma força não constante, cuja expressão, estabelecida pela lei de Hooke, é: $F_{el} = k \cdot x$. Assim, o trabalho deve ser calculado por meio da área sob o gráfico F_{el} em função de x (fig. 6).



$$\text{Área} \stackrel{\text{N}}{=} \zeta \Rightarrow \zeta = \frac{kx \cdot x}{2} \Rightarrow \zeta = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Figura 6 • Gráfico da força elástica em função da deformação.

Já sabe responder?

É possível armazenar energia escalando uma montanha?



QUESTÕES RESOLVIDAS

R1 Um carro de massa 1,5 tonelada é erguido em uma oficina mecânica até atingir a altura de 2 m em relação ao solo em um local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Qual é o valor da energia potencial gravitacional transferida ao carro?
- Suponha que toda a energia potencial gravitacional armazenada pelo carro pudesse ser utilizada para movimentá-lo, a partir do repouso, em uma pista horizontal. Qual é o valor da velocidade adquirida por ele?
- É possível, sem efetuar cálculos, conhecer o trabalho da força peso quando o elevador leva o veículo de volta ao solo? Explique.

► Resolução

- a) Em relação à altura de 2 m, o carro tem energia potencial gravitacional dada por:

$$E_{\text{pg}} = m \cdot g \cdot h$$

em que a massa deve estar em kg, ou seja, $m = 1,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$. Então:

$$E_{\text{pg}} = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \therefore E_{\text{pg}} = 3 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- b) Como o carro estaria em repouso, teríamos $E_{\text{c}} = 0$. A energia cinética adquirida pelo carro teria valor equivalente, pelo enunciado, à energia potencial gravitacional, ou seja, $3 \cdot 10^4 \text{ J}$. Portanto,

$$E_{\text{c}} = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 3 \cdot 10^4 = \frac{1,5 \cdot 10^3 \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{40}$$

$$\therefore v = 6,3 \text{ m/s} \approx 22,8 \text{ km/h}$$

Observe que se trata de uma quantidade de energia bastante razoável, capaz de provocar movimento de velocidade significativa.

- c) Sim, o trabalho da força peso equivale à energia potencial gravitacional adquirida pelo carro ao atingir a altura de 2 m, ou seja, $3 \cdot 10^4 \text{ J}$.

R2 O menino da foto ao lado salta utilizando um brinquedo que tem na extremidade uma mola. Simplificadamente, a brincadeira se realiza da seguinte maneira: o menino faz força na mola utilizando seu peso; a força elástica restitui a mola ao seu comprimento natural, empurrando o menino para cima e fazendo-o sair do chão; a criança direciona a estrutura para a direção em que ela quer se mover. O maior salto com esse tipo de brinquedo atingiu uma altura de aproximadamente 2,5 m do chão. Suponha que um menino de massa 50 kg consiga comprimir a mola do brinquedo 30 cm e atinja a altura do maior salto. Agora, responda às questões a seguir.

- Qual é o valor da energia potencial gravitacional associada ao garoto quando ele atingir a altura de 2,5 m?
- Suponha que a energia potencial calculada no item a seja transferida para a mola do brinquedo. Qual é o valor da sua constante elástica?

► Resolução

- a) Em relação à altura de 2,5 m, o garoto tem energia potencial gravitacional dada por:

$$E_{\text{pg}} = 50 \cdot 10 \cdot 2,5 \therefore E_{\text{pg}} = 1.250 \text{ J}$$

- b) Para a deformação de 30 cm, temos $x = 0,3 \text{ m}$. Como estamos supondo $E_{\text{pel.}} = E_{\text{pg}}$, temos:

$$1.250 = \frac{k \cdot (0,3)^2}{2} \therefore k \approx 2,8 \times 10^4 \text{ N/m}$$

O valor é bastante elevado. Isso significa que a mola, quando deformada, transfere uma grande quantidade de energia ao menino que salta.



BLEND IMAGES/KIDSTOCK/GETTY IMAGES

QUESTÕES PROPOSTAS

Lembre-se: resolva as questões no caderno.

- 1** Com o auxílio de um guindaste, uma plataforma de massa 15 kg é utilizada para erguer, do solo até a altura de 5 m, a atriz que será destaque de um dos carros alegóricos da escola de samba Unidos da Lua Cheia. A fantasia da atriz tem massa de 10 kg.



Se o trabalho que o peso do conjunto atriz + fantasia + plataforma realiza durante esse deslocamento tiver módulo igual a 4.250 J, qual deve ser a massa da atriz?

(Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- 2** Jonas, Letícia e Carlos carregam mochilas de massas iguais, equivalentes a 4,5 kg. Ao chegarem à escola vão ao segundo andar, onde fica sua sala de aula. Jonas vai pela rampa, Letícia vai pela escada, e Carlos, pelo elevador, porque está com o pé machucado.

- Qual dos dois, Jonas ou Letícia, realizará maior trabalho para carregar a mochila até o segundo andar? Lembre-se de que ambos estarão realizando trabalho para "vencer" o peso da mochila.
- Quando os três chegarem à sala de aula, qual das mochilas, de Carlos, de Letícia ou de Jonas, terá maior energia potencial gravitacional em relação ao solo?
- É certo afirmar que não foi realizado trabalho sobre a mochila de Carlos, uma vez que ele subiu de elevador?
- Se Jonas subiu em 30 segundos e Letícia em 1 minuto, qual dos dois desenvolveu maior potência durante o percurso de subida?

- 3** Suponha que, por acidente, um vaso cai da janela de um edifício, situada a 15 m de altura em relação ao solo. O vaso possui massa 0,5 kg e sobre sua queda são feitas as afirmações I, II e III a seguir. Avalie se as afirmações são verdadeiras ou falsas, justificando sua escolha. (Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- A energia potencial gravitacional do vaso deixa de ser nula quando ele começa a cair.
- O vaso tem, na metade da queda, 37,5 J de energia potencial gravitacional.
- Ao chegar ao solo, a energia potencial gravitacional do vaso é nula e ele tem energia cinética não nula.

- 4** Uma mola, que apresenta determinada constante elástica, está fixada verticalmente por uma de suas extremidades, conforme a figura I.

Figura I

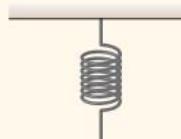
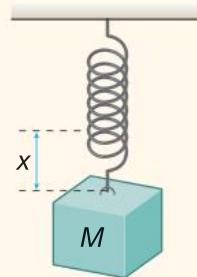
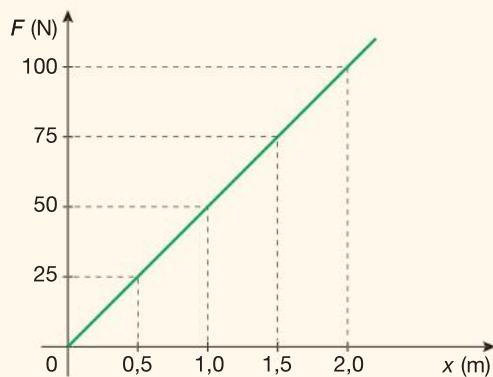


Figura II



Ao acoplar a extremidade livre a um corpo de massa M , o comprimento da mola foi acrescido de um valor x , e ela passou a armazenar uma energia elástica E , conforme a figura II.

O gráfico representa o comportamento da mola quando variarmos o valor da massa m presa a ela.



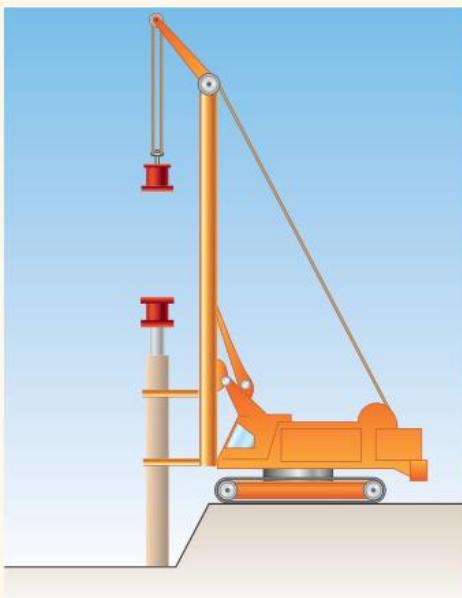
Determine a energia potencial elástica armazenada quando $m = 5 \text{ kg}$. (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- 5** Um atleta, preocupado com o esforço muscular que seu braço terá de suportar em uma competição, se prepara comprimindo e distendendo em 20 cm uma mola de constante elástica 250 N/m. Para que o treinamento tenha o efeito desejado, o atleta realiza 20 ciclos de compressão e distensão por minuto, com movimentos aproximadamente uniformes, tanto na ida como na volta. Calcule a quantidade de energia transformada pelo atleta durante 10 minutos de exercícios.

6 Uma bola de borracha é abandonada a 2,0 m acima do solo. Após bater no chão, retorna a uma altura de 1,5 m do solo. Qual é a porcentagem da energia potencial gravitacional inicial dissipada na colisão da bola com o solo?

7 Para instalar as estacas, geralmente de aço, que compõem os alicerces de edifícios ou de outras estruturas, é usado um mecanismo denominado bate-estacas. Seu funcionamento é simples: ergue-se um **martinete** pesado, que é abandonado de determinada altura, caindo sobre a estaca a ser instalada. Um modelo comum de bate-estacas, de pequeno porte, tem martinete, ou martelo, de 1.500 kg, que é elevado à altura de 10 m antes de ser abandonado em direção ao solo. Quando está na altura máxima, qual é a energia potencial gravitacional armazenada no martinete? Com que velocidade o martinete atinge a estaca?

Martinete. Grande martelo. Em geral, trata-se de um peso que pode ser erguido por meio de cabos. Esse peso é liberado (em queda livre) de determinada altura.



LUIZ RUBIO

8 (UFPR) Uma pessoa de 80 kg, após comer um sanduíche com 600 kcal de valor alimentício numa lanchonete, decide voltar ao seu local de trabalho, que fica a 105 m acima do piso da lanchonete, subindo pelas escadas. Calcule qual porcentagem da energia ganha com o sanduíche será gasta durante essa subida.

(Adote: $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$)

9 (Unicamp-SP) As eclusas permitem que as embarcações façam a transposição dos des-

níveis causados pelas barragens. Além de ser uma monumental obra de engenharia hidráulica, a eclusa tem um funcionamento simples e econômico. Ela nada mais é do que um elevador de águas que serve para subir e descer as embarcações. A eclusa de Barra Bonita, no rio Tietê, tem um desnível de aproximadamente 25 m. Qual é o aumento da energia potencial gravitacional quando uma embarcação de massa $m = 1,2 \times 10^4 \text{ kg}$ é elevada na eclusa?

(Adote: $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- a) $4,8 \times 10^2 \text{ J}$ c) $3,0 \times 10^5 \text{ J}$
 b) $1,2 \times 10^5 \text{ J}$ d) $3,0 \times 10^6 \text{ J}$

10 (Uerj) Durante a Segunda Guerra Mundial, era comum o ataque com bombardeiros a alvos inimigos por meio de uma técnica denominada mergulho, cujo esquema pode ser observado a seguir.



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

ADILSON SECCO

O mergulho do avião iniciava-se a 5.000 m de altura, e a bomba era lançada sobre o alvo de uma altura de 500 m.

Considere a energia gravitacional do avião em relação ao solo, no ponto inicial do ataque, igual a E_1 e, no ponto de onde a bomba é lançada, igual a E_2 .

Calcule $\frac{E_1}{E_2}$.

Usinas maremotrizes

Não é apenas a energia das quedas-d'água representada nos rios que pode ser utilizada para acionar turbinas e gerar energia elétrica. Embora ainda existam dificuldades a serem vencidas, também o subir e descer das marés em intervalos de 6 horas pode ser usado como recurso energético renovável. Para ter uma ideia, o custo de instalação de uma usina geradora maremotriz é cerca de 5 vezes maior do que o de uma hidrelétrica. Além disso, é preciso avaliar as consequências da construção da usina nas atividades econômicas da região e os danos ambientais que podem ser provocados nos ecossistemas marinhos.

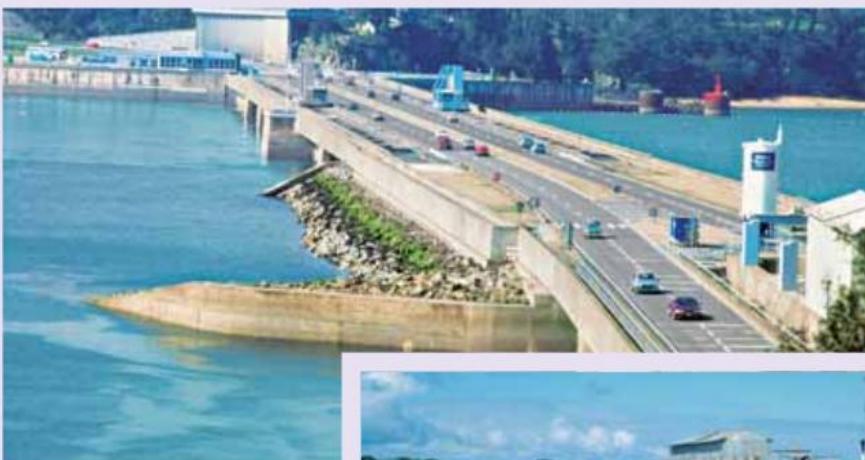
Em Saint-Marlo, na França, foi construída, na década de 1960, a usina maremotriz de La Rance, primeira do mundo a aproveitar a diferença entre as

marés altas e baixas da região. Na região da usina, essa diferença varia de 8 a 13 metros, aproximadamente, permitindo a construção de uma barragem para aprisionar a água do mar e liberá-la para o acionamento das turbinas.

As turbinas embutidas na barragem da usina de La Rance, que tem 330 metros de comprimento, permitem a instalação de uma potência média de 68 MW, atingindo, anualmente, a produção de cerca de 600 milhões de kWh, energia capaz de suprir uma cidade com, aproximadamente, 100 mil habitantes.

É importante lembrar que toda forma de geração de energia tem aspectos positivos e negativos. As hidrelétricas, por exemplo, têm a favor o fato de utilizarem fonte renovável e contra, a necessidade de submersão de grandes áreas para a criação de um lago, entre outros.

MARTIN BOND/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



ENVIRONMENT IMAGES/UG/GETTY IMAGES

- 1 Indique no caderno quais dos aspectos a seguir podem ser considerados positivos ou negativos à implantação de uma usina maremotriz de geração de eletricidade.
 - a) Impacto sobre o ecossistema marinho.
 - b) Fornecimento de eletricidade para pequenas comunidades caiçaras.
 - c) Custo do material para a construção.
 - d) Intervalos de aproximadamente 12 horas entre duas marés altas sucessivas.
 - e) Utilização de fonte renovável e não poluidora.
 - f) Diferença entre as alturas das marés alta e baixa.
- 2 O governo prevê investir cerca de R\$ 700,00 por kW de potência instalada na usina de Belo Monte, no rio Xingu, no Pará. Qual seria o custo, em reais e por MW de potência instalada, de uma usina maremotriz com capacidade geradora semelhante à de Belo Monte?

CAPÍTULO 19

Transformações de energia mecânica

ou: Por que o carrinho da montanha-russa não precisa de motor?

Em uma montanha-russa, há continuamente troca de energia potencial gravitacional e cinética. O carrinho é levado até o ponto mais alto da montanha, preso, geralmente, a uma esteira que utiliza a força de um motor para se mover. No ponto mais alto, o carrinho adquire energia potencial gravitacional máxima. A partir daí, escorrega rampa abaixo sem a ajuda de motores ou de máquinas, somente trocando energia potencial por cinética.

1 Introdução

S5

No Suplemento, você encontra orientações para o trabalho com a questão introdutória.

Transformações de energia estão muito presentes no cotidiano. Por exemplo, para que um ônibus possa iniciar seu percurso, diversas modificações energéticas são necessárias. A primeira ocorre quando o motorista dá a partida no veículo. Para que o motor comece a girar, e o ônibus comece a se mover, é preciso que a bateria transforme energia química em energia elétrica.

A seguir, a explosão do combustível nos cilindros do motor deve gerar energia térmica suficiente para mover os pistões, que fazem as rodas girar por meio da transmissão de certa quantidade de energia cinética. O ônibus se move e parte da sua energia cinética se transforma em calor por causa do trabalho da força de atrito dos pneus com o solo ou do trabalho da força de resistência do ar. Ao frear, a energia cinética do ônibus se transforma em energia térmica nos freios e, às vezes, em energia sonora, como ocorre em uma derrapagem, por exemplo. No dia a dia, sempre estamos em contato com alguma modificação de energia.

Neste capítulo, vamos tratar das transformações de energia cinética em potencial e vice-versa. Os conceitos que aprenderemos tornarão compreensíveis os princípios que regem vários movimentos, inclusive o dos carrinhos dos brinquedos de um parque de diversões.



Figura 1 • Ônibus trafegando em uma estrada.

2 Energia mecânica ($E_{\text{Mec.}}$)

Sistemas conservativos

Você já reparou que, em uma montanha-russa, a altura em que o carrinho inicia a primeira descida é a maior de todas e, portanto, ele não atinge essa altura em nenhum outro momento?



EVGENY KUZHLEV/SHUTTERSTOCK

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

Para entender por que isso ocorre, vamos supor que alguém tenha descoberto como eliminar totalmente o atrito que sempre acompanha o movimento e resolva aplicar sua descoberta à construção de uma montanha-russa.

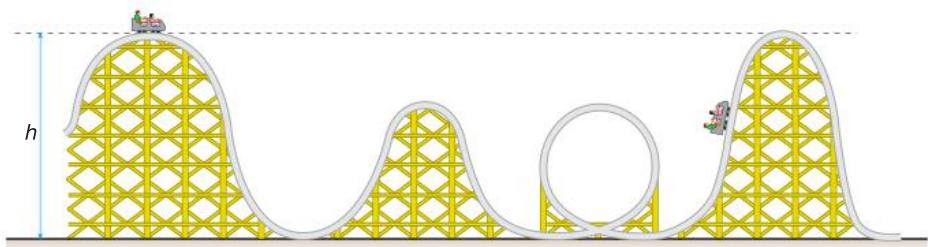
Logo, a pessoa vai perceber que, ao contrário do que ocorre na realidade, a altura inicial do carrinho poderá ser alcançada infinitas vezes. Por que isso é possível? O que muda com a ausência do atrito?

Vamos acompanhar o movimento do carrinho na montanha-russa idealizada. Quando ele está no topo da rampa, pronto para iniciar o percurso, está a determinada altura em relação ao solo e tem, portanto, certa quantidade de energia potencial gravitacional. Ao iniciar o movimento, o carrinho começa a descer a rampa, perdendo altura e ganhando velocidade. Em outras palavras, sua energia potencial gravitacional diminui, enquanto sua energia cinética aumenta. No ponto mais baixo da rampa, rente ao chão, sua energia potencial gravitacional será nula, enquanto sua energia cinética será máxima.

Numa montanha-russa ideal, seja qual for a posição em que o carrinho esteja, a soma das suas energias cinética (E_c) e potencial (E_p) terá sempre o mesmo valor. Essa soma é chamada de **energia mecânica** e a representamos por $E_{\text{Mec.}}$. Sistemas em que a energia mecânica total se mantém constante são chamados de **sistemas conservativos**.

$$E_{\text{Mec.}} = E_c + E_p$$

Em um sistema conservativo, $E_{\text{Mec.}} = \text{constante}$.

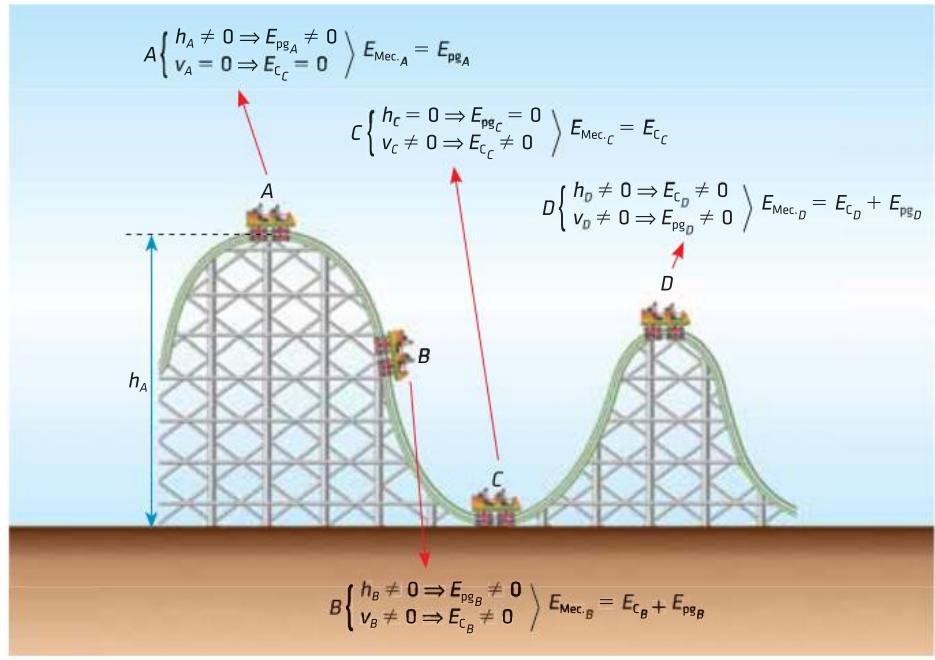


LUIZ RUBIO

Figura 2 • Em uma montanha-russa, a primeira descida é a mais alta de todas, enquanto as outras rampas são mais próximas do chão.

Figura 3 • Em uma montanha-russa idealizada, qualquer traçado garante movimento ao carrinho, desde que a altura inicial não seja ultrapassada.

É por isso que, em uma montanha-russa sem atrito, o carrinho pode voltar a atingir o ponto mais alto infinitas vezes. A energia mecânica que ele possui no início é a mesma da chegada. Numa montanha-russa idealizada, os passageiros embarcariam numa viagem sem fim, subindo e descendo rampas indefinidamente, pois nada deteria o carrinho, que, naturalmente, jamais pararia.



DOMINGOS AQUINO

Figura 4 • Em um sistema conservativo, os corpos trocam altura por velocidade e vice-versa. O valor da energia mecânica não se altera ($E_{Mec,A} = E_{Mec,B} = E_{Mec,C}$).

Sistemas dissipativos

Vamos continuar nossa viagem no carrinho da montanha-russa, mas considerando agora uma situação real, ou seja, sem desprezar o atrito. A força de atrito, durante todo o percurso do carrinho, realiza um trabalho resistente, retirando energia mecânica do sistema e transformando-a, por exemplo, em energia térmica. Nesse caso, ao completar o movimento de descida da primeira rampa, a energia potencial gravitacional não terá sido inteiramente transformada em energia cinética. Ainda que a troca entre as energias potencial e cinética seja contínua, a soma não vai permanecer constante.

Desse modo, a energia mecânica associada ao carrinho torna-se cada vez menor. Consequentemente, o carrinho não terá energia mecânica suficiente para subir uma rampa de altura igual àquela de onde partiu. Um sistema no qual a energia mecânica não se conserva é chamado de **sistema dissipativo**.

Em um sistema dissipativo, a energia mecânica E_{Mec} não é constante.

A quantidade de energia mecânica dissipada corresponde ao trabalho das forças de resistência sobre o sistema. Assim, dizemos que:

$$\mathcal{Z} = E_{Mec,f} - E_{Mec,i} \Rightarrow \mathcal{Z} = \Delta E_{Mec}.$$

Nos parques de diversões atuais, embora as rodas do carrinho reduzam grande parte do efeito do atrito, não chegam a eliminá-lo. É por isso que, se houver **loopings** durante o trajeto, eles geralmente estarão próximos da primeira descida, ou seja, quando o carrinho ainda tem grande parte da energia mecânica inicial. Isso deve ao fato de que o carrinho não pode parar no ponto mais alto do *looping*, ou seja, a energia cinética nessa posição não pode ser nula, pois nesse caso as pessoas cairiam. Assim, é preciso haver energia suficiente para garantir a emoção, que será tanto maior quanto mais alto for o *looping*.

Figura 5 • O segundo *looping* da montanha-russa da foto tem altura menor que a do primeiro. Isso ocorre porque há dissipação da energia mecânica. O carrinho pode não conseguir fazer dois *loopings* de igual altura com velocidade que assegure aos passageiros que eles não cairão.

Pergunte aos alunos se já foram a um parque de diversões cujos brinquedos tivessem *loopings*. Tente fazê-los lembrar das sensações em cima e embaixo do *looping*.

Looping. Do inglês, “laço”, “alça”, “anel”.

DAN PORGES/GETTY IMAGES



3 Conservação da energia

As trocas de energia em nosso cotidiano ocorrem quase sempre em sistemas dissipativos. Isso explica por que bolas de tênis ou de pingue-pongue nunca retornam à altura da qual foram abandonadas, quicando até parar (fig. 6). A energia mecânica se dissipa continuamente, transformando-se, sobretudo, em energia térmica. A energia cinética de um pêndulo em movimento também sofre transformações enquanto o pêndulo vai parando de oscilar. O mesmo ocorre com a energia elétrica gerada a partir da energia potencial gravitacional da água em queda. A energia mecânica, nesses exemplos, vai sendo convertida em outras formas de energia, mas conservando a quantidade da energia total. Não há ganho nem perda da energia total em um sistema fechado; o que ocorre é uma conversão de uma forma em outra. Quando a energia de um sistema diminui, há um aumento igual de energia em outro sistema. Essa constatação pode ser generalizada em uma lei física denominada **lei da conservação da energia**, cujo enunciado é o seguinte:

A energia não pode ser criada nem destruída; pode apenas ser transformada de uma forma em outra, com sua quantidade total permanecendo constante.

ADAM HART-DAVIES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



Figura 6 • Bola quicando e perdendo altura.

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

S6

No Suplemento, há comentários sobre este “Explore”.

EXPLORE EM QUÍMICA

Por que o petróleo e o carvão mineral são chamados de fontes não renováveis de energia, enquanto a madeira, o carvão vegetal e o álcool são fontes renováveis?

LUIZ RUBIO

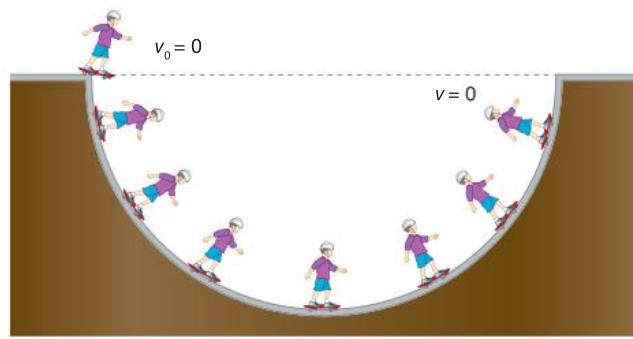


Figura 7 • Parte da energia mecânica do sistema é transformada em outras formas de energia.

Apesar de a lei da conservação da energia garantir que não há como perder energia, algumas transformações são irreversíveis, inviabilizando seu aproveitamento após a conversão. Por exemplo, no caso do carrinho da montanha-russa, a energia potencial inicial não se transforma apenas na energia cinética do próprio carrinho, mas também na energia cinética de seus átomos e moléculas, pois há aquecimento nas rodas ao atritar com os trilhos. Além disso, ao se mover, o carrinho transfere energia à estrutura da montanha-russa e ao ar, que também se aquecem, vibram e emitem ruído, ou seja, manifestam-se na forma de calor e de energia sonora. As energias resultantes do calor desprendido, da vibração do ar, dos trilhos e do carrinho não são mais aproveitáveis. Depois de transferidas para o ambiente, não há como reaproveitá-las para a realização de novo trabalho mecânico.

Já sabe responder?

Por que o carrinho da montanha-russa não precisa de motor?



UWE ANSPACH/DPA/CORBIS/LATINSTOCK

S7

Consulte o Suplemento para obter uma sugestão de atividade-síntese para esta unidade.

QUESTÕES RESOLVIDAS

R1 Ao colocar seu filho num balanço, uma jovem mãe se posiciona atrás da criança, segurando o balanço e abandonando-o de certa altura em relação a um plano horizontal.

- Explique por que a mãe da criança pode permanecer na posição onde o balanço foi solto sem medo de que ele a atinja ao retornar.
- Suponha que o sistema balanço-criança tenha massa 30 kg e a altura em relação ao plano de referência, de onde foi abandonado, seja 40 cm. Ao voltar ao ponto do qual partiu, o sistema tem sua energia mecânica reduzida em 30 J. Qual será a altura máxima atingida pelo balanço? (Utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

► Resolução

- Ao ser abandonado de certa altura, o balanço tem energia potencial gravitacional, E_{pg} , e nenhuma energia cinética. Quando começar a adquirir velocidade, perderá energia potencial gravitacional e ganhará energia cinética. Como se trata de um sistema dissipativo, parte de sua energia mecânica se dissipará, e o balanço voltará para a mãe da criança sem energia suficiente para atingir a altura de onde partiu.
- A energia mecânica inicial do sistema, $E_{Mec,i}$, é apenas sua energia potencial gravitacional, pois o balanço tem velocidade inicial zero e, portanto, energia cinética nula.

Temos, então:

$$E_{Mec,i} = E_{pg} = 30 \cdot 10 \cdot 0,4 \therefore E_{Mec,i} = 120 \text{ J}$$

Ao voltar, o sistema terá perdido parte desse valor e atingirá o ponto de altura máxima com:

$$E_{Mec,f} = E_{pg} = 120 - 30 \therefore E_{Mec,f} = 90 \text{ J}$$

Com esse valor, podemos calcular a altura que o balanço atingirá:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow 90 = 30 \cdot 10 \cdot h, \text{ que resulta:}$$

$$h = 0,3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

De fato, a mãe não precisa ficar preocupada em ser atingida pelo balanço. Como a altura inicial foi de 40 cm, o balanço entrará em repouso 10 cm abaixo da altura de onde partiu.

R2 Um parque aquático, localizado no Ceará, tem um tobogã inflável de 6 metros de altura, que equivale a um prédio de 14 andares. Os corajosos que se aventuram nesse brinquedo descem por uma rampa onde corre água sem parar. Por causa disso, o atrito é bastante reduzido, e o sistema pode ser considerado conservativo.

- Supondo que um usuário desse brinquedo parte do ponto mais alto com velocidade

nula, calcule sua velocidade ao atingir a base do brinquedo. (Utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

- Segundo dados fornecidos pelo parque, a descida dura, em média, 4,5 s. Calcule a aceleração com que a pessoa desce a rampa do tobogão.

► Resolução

$$\text{a) No ponto } A: E_{Mec,A} = E_{c_A} + E_{pg_A}$$

No entanto, o usuário parte do repouso; então:

$$E_{c_A} = 0$$

$$\text{No ponto } B: E_{Mec,B} = E_{c_B} + E_{pg_B}$$

Mas o usuário na base não tem altura em relação ao solo; então:

$$E_{pg_B} = 0$$

Supondo que o sistema seja conservativo, temos:

$$E_{Mec,A} = E_{Mec,B} \Rightarrow E_{pg_A} = E_{c_B} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow mgh_A = m \frac{v_B^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m \cdot 10 \cdot 41 = \frac{mv_B^2}{2} \therefore v_B \approx 28,6 \text{ m/s}$$

Esse valor equivale a, aproximadamente, 103 km/h.

- Sabemos que:

$$v = v_0 + at$$

Para $v_0 = 0$ e $t = 4,5 \text{ s}$, temos:

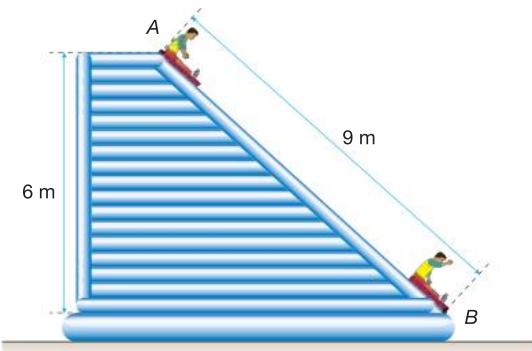
$$28,6 = 4,5a \therefore a \approx 6,36 \text{ m/s}^2$$

R3 Em um tobogã inflável de 6 metros de altura, uma criança escorrega no ponto mais alto partindo do repouso. A criança chega ao ponto mais baixo do tobogã deslizando com atrito, como mostra a figura na página seguinte. Qual é a velocidade da criança ao chegar ao ponto mais baixo, sabendo que, por causa do trabalho da força de atrito, foram dissipados 2.000 J de energia mecânica? (Dados: $m_{criança} = 40 \text{ kg}$)

► Resolução

Como há atrito entre a criança e a superfície da rampa, o sistema é dissipativo e, portanto, a energia mecânica associada à criança na posição A não será a mesma que ela terá em B. Há uma variação de energia mecânica graças ao trabalho da força de atrito, que, pelo enunciado, vale:

$$\mathcal{F}_{at} = \Delta E_{Mec} = -2.000 \text{ J}$$



Sabemos que, no ponto A, temos:

$$E_{\text{Mec},A} = E_{c_A} + E_{pg,A}$$

Como a criança parte do repouso:

$$E_{c_A} = 0 \Rightarrow E_{\text{Mec},A} = 40 \cdot 10 \cdot 6$$

$$\therefore E_{\text{Mec},A} = 2.400 \text{ J}$$

Embaixo (ponto B): $E_{\text{Mec},B} = E_{c_B} + E_{pg,B}$

Como a criança atinge a base:

$$E_{pg,B} = 0 \Rightarrow E_{\text{Mec},B} = \frac{40 \cdot v_B^2}{2}$$

Mas sabemos que:

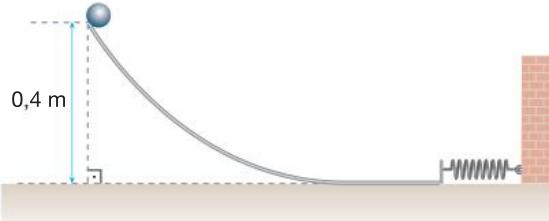
$$E_{\text{Mec},A} \neq E_{\text{Mec},B} \Rightarrow \zeta_{F_{\text{at}}} = E_{\text{Mec},B} - E_{\text{Mec},A}$$

Como $\zeta_{F_{\text{at}}} = -2.000 \text{ J}$, temos:

$$-2.000 = 40 \frac{v_B^2}{2} - 2.400 \Rightarrow 400 = \frac{40v_B^2}{2} \Rightarrow \\ \Rightarrow v_B^2 = 20 \quad \therefore v_B \approx 4,5 \text{ m/s} \approx 16 \text{ km/h}$$

Note que se trata de um valor de velocidade baixo, adequado à segurança da criança.

R4 Uma bola de 2 kg de massa situada à altura de 0,4 m do solo desliza a partir do repouso pela pista sem atrito representada na figura. No fim do trajeto, ela encontra e comprime uma mola de constante elástica 256 N/m. Supondo desprezíveis as perdas de energia, determine a deformação sofrida pela mola.



► Resolução

O sistema é conservativo, por isso a energia mecânica se conserva. Assim, considerando o ponto de onde partiu a bola como o ponto A e a posição de compressão máxima da mola como o ponto B, temos:

$$E_{\text{Mec},A} = E_{\text{Mec},B} \Rightarrow E_{pg,A} + E_{c_A} = E_{\text{pel}}$$

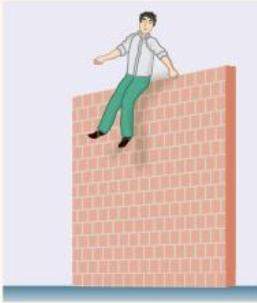
Como a bola partiu do repouso, temos: $E_{c_A} = 0$. Então:

$$mgh = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow \\ \Rightarrow 2 \cdot 10 \cdot 0,4 = \frac{256 \cdot x^2}{2} \\ \therefore x = 0,25 \text{ m}$$

Portanto, a deformação sofrida pela mola foi de 25 cm.

QUESTÕES PROPOSTAS

- 1** A figura mostra um homem na Terra saltando de um caixote e de um muro que estão, respectivamente, a 50 cm e a 3 m do solo (nível de referência). Sobre o descrito, são feitas as seguintes afirmações:



Lembre-se: resolva as questões no caderno.

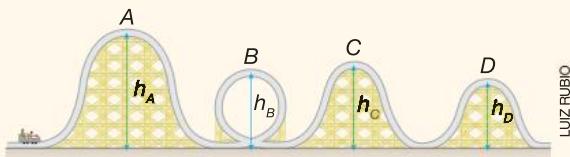
- O valor da energia potencial gravitacional associada ao homem no alto do muro é maior do que quando ele salta do caixote, porque o trabalho associado à força peso do homem depende da altura onde ele está em relação ao solo.
- Ao atingir o solo, a energia cinética associada ao homem terá maior valor quando o salto for feito do muro.
- O valor da energia mecânica associada ao homem será constante independentemente da ação de forças dissipativas que atuarem sobre ele durante o trajeto até o solo.

Verifique se essas afirmações são verdadeiras ou falsas e justifique.

- 2** Um gato cai accidentalmente de uma janela de 5 m de altura. Supondo sua massa igual a 4 kg, verifique se são verdadeiras ou falsas as afirmações a seguir e justifique. (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

- Em um sistema conservativo, o gato atinge o solo com velocidade de 36 km/h.
- Se levarmos em conta os efeitos da resistência do ar, o gato, ao atingir o solo, terá energia mecânica superior a 200 J.
- Na metade da altura, o gato tem, no máximo, 100 J de energia cinética.
- A energia mecânica associada ao gato certamente vale 200 J em qualquer instante da queda.

- 3** Em uma montanha-russa, o carrinho segue o trajeto representado na figura. (Considere que o carro tem $v = 0 \text{ m/s}$ no ponto A.)



- Explique por que a altura do *looping* h_B deve ser inferior à altura h_A , mesmo se o sistema for considerado conservativo.
- Ao ser abandonado no ponto A, o carrinho realiza uma série de subidas e descidas. Para uma situação na qual o atrito não pode ser desprezado, coloque em ordem crescente as energias mecânicas dos pontos A, B, C e D.
- Suponha que em A o carrinho de massa 1.000 kg tenha 10^5 J de energia mecânica. No trajeto de A até D, ele perde $2 \times 10^4 \text{ J}$, atinge D e para. Qual é o valor da altura h_D ?
- Qual é a potência do motor da esteira que leva o carrinho do solo até o ponto A, sabendo que esse percurso é feito em 20 s?

- 4** É possível aumentar a segurança das rodovias que apresentam declives muito acentuados construindo o que os engenheiros de transporte chamam de "corredores de segurança". O objetivo desses segmentos especiais de estrada é permitir que veículos pesados, como caminhões ou ônibus, que tenham seus freios avariados ou superaquecidos percam gradualmente a energia cinética acumulada, evitando, assim, acidentes de consequências graves. Ao se encaminhar para um desses corredores, o veículo percorre um trecho de estrada em elevação cujo pavimento é constituído por uma camada de brita. Assim, ao trilhar essa subida, o veículo, além de transformar sua energia cinética em potencial gravitacional, tem sua velocidade reduzida por causa do trabalho da força de atrito.



Suponha que um motorista dirija um caminhão de 5 toneladas de massa, à velocidade de 72 km/h, e deseje parar o veículo usando o dispositivo descrito no texto. Por causa do atrito entre os pneus do caminhão e o piso do "corredor de segurança", o caminhão perde 60% da energia cinética que possuía ao entrar nesse piso. Determine que altura em relação ao solo o caminhão atinge ao parar. (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

- 5** Um balão leva sacos de areia que são largados à medida que o balonista quer diminuir seu peso e atingir maiores altitudes. Suponha que, durante um passeio, um balonista deixe cair um desses sacos, de massa 30 kg, no instante em que o balão está parado a 200 m de altura em relação ao solo. Qual é, em joule, o valor da energia mecânica dissipada no percurso se o saco tem, ao atingir o solo, a velocidade de 144 km/h? (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)



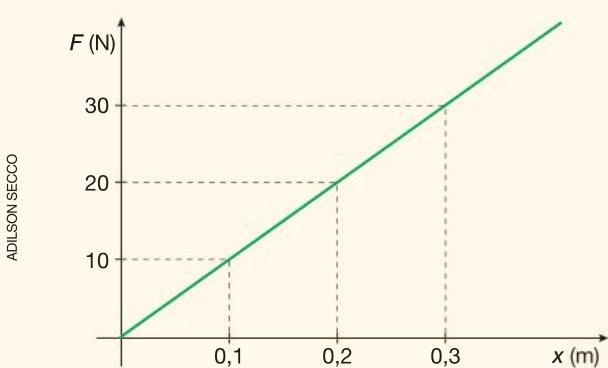
LUIZ RUBIO

6 O brinquedo da figura é uma caixa de surpresa. No seu interior, há uma mola comprimida que tem em sua extremidade um boneco de massa 40 g. Quando a pessoa gira a manivela, a tampa da caixa se abre, a mola se distende e o boneco é impulsionado para fora.

Suponha que em uma dessas caixas haja uma mola cujo comportamento pode ser descrito pelo gráfico a seguir.

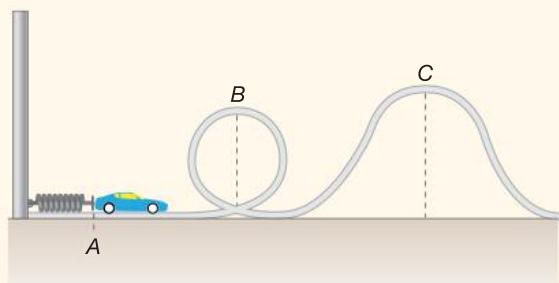


MARKUS BRUNNER/ALAMY/GLOW IMAGES



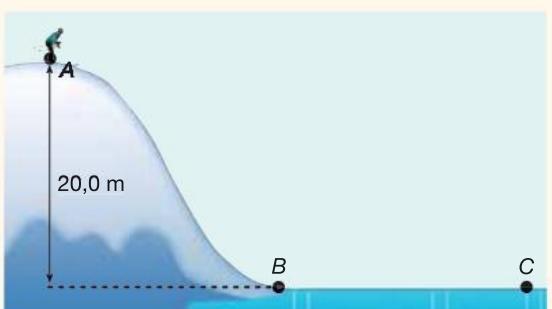
- a) Calcule a energia potencial elástica associada à mola quando ela está deformada 25 cm.
 b) Ao ser restituída ao seu comprimento natural, a mola libera o boneco imprimindo-lhe velocidade de 5 m/s. Determine a deformação da mola antes de a tampa ser aberta.

7 Um brinquedo foi criado para simular o movimento em um trecho de montanha-russa. Ele é composto de um trilho de metal liso sobre o qual se move um carrinho de massa 50 g. O movimento começa quando se libera uma mola de constante elástica 40 N/m, comprimida de 10 cm, na qual o carrinho está encostado. (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que o atrito entre o carrinho e o trilho é desprezível.)

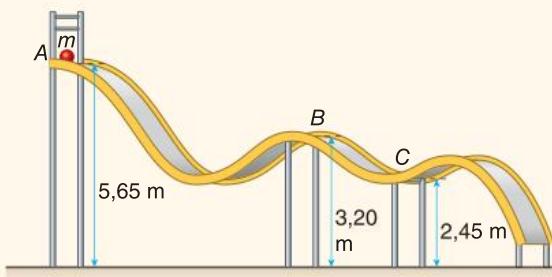


- a) Qual é a energia potencial elástica associada ao carrinho no ponto A?
 b) Se o ponto B está a uma distância de 30 cm do plano horizontal, o carrinho conseguirá executar o looping? Por quê?
 c) A que altura deve estar o ponto C para que o carrinho pare ao atingi-lo?

8 Um esquiador de massa 80 kg desce um morro coberto de neve, como mostrado na figura a seguir. No trecho de A a B, o atrito é desprezível e, no trecho de B a C, há atrito de coeficiente 0,5. Sabendo que o esquiador parte do repouso e que em C ele para, determine a distância BC.



- 9 (Udesc) Uma partícula com massa de 200 g é abandonada, a partir do repouso, no ponto A da figura. Desprezando o atrito e a resistência do ar, pode-se afirmar que as velocidades nos pontos B e C são, respectivamente:



- a) 7,0 m/s e 8,0 m/s
 b) 5,0 m/s e 6,0 m/s
 c) 6,0 m/s e 7,0 m/s
 d) 8,0 m/s e 9,0 m/s
 e) 9,0 m/s e 10,0 m/s

10 (UFRGS-RS) Um objeto, com massa de 1,0 kg, é lançado, a partir do solo, com energia mecânica de 20 J. Quando o objeto atinge a altura máxima, sua energia potencial gravitacional relativa ao solo é de 7,5 J.

Desprezando-se a resistência do ar e considerando-se a aceleração da gravidade com módulo de 10 m/s^2 , a velocidade desse objeto no ponto mais alto de sua trajetória é:

- a) zero
 b) 2,5 m/s
 c) 5,0 m/s
 d) 12,5 m/s
 e) 25,0 m/s

11 (IFSC) A ilustração abaixo representa um bloco de 2 kg de massa, que é comprimido contra uma mola de constante elástica $k = 200 \text{ N/m}$. Desprezando qualquer tipo de atrito, é CORRETO afirmar que, para que o bloco atinja o ponto B com uma velocidade de 1,0 m/s, é necessário comprimir a mola em:



- a) 0,90 cm
 b) 90,0 cm
 c) 0,81 m
 d) 81,0 cm
 e) 9,0 cm

No Suplemento, há comentários para o trabalho com esta atividade.

Potência associada a uma força

Você já se imaginou produzindo energia elétrica suficiente para iluminar um local e manter alguns aparelhos eletrônicos funcionando durante longo tempo? Pois isso já existe! Trata-se da pista de dança sustentável, considerada a “mais verde” que existe.

A pista sustentável é composta de sensores instalados por baixo do piso que captam a energia de movimento dos frequentadores, convertendo-a em energia elétrica. Estimativas mostram que, ao dançar, uma pessoa pode produzir de 5 a 10 watts de potência, dependendo do seu peso. Para um dançarino mais animado esse valor pode chegar a 20 watts!

EUROPEAN NEWS COM/GLOW IMAGES



Pista de dança sustentável.

E que tipo de dançarino você seria? Animado ou “apagado”? Esta atividade tem o objetivo de estabelecer a potência associada ao trabalho da sua força peso. Para realizá-la, você terá que subir alguns lances de escada e cronometrar seu tempo de subida. Esse movimento (subir a escada), embora seja menos complexo que os movimentos de uma dança, pode ser equivalente em termos de energia, dependendo do tipo de dança.

Materiais

- Cronômetro, régulas.

Procedimento

- 1 Suba correndo uma escada entre um ou dois andares de um prédio e meça o tempo que você gastou.
- 2 Obtenha o valor da altura a que você se elevou. Você pode medir a altura de um degrau e multiplicar pelo número de degraus que subiu.
- 3 Qual é o trabalho realizado pelo seu peso no deslocamento?
- 4 Esse valor seria diferente se, caso fosse possível, você pulasse do piso até o último degrau? E se a escada fosse rolante?
- 5 Calcule a potência associada ao seu peso ao realizar essa tarefa. Compare com o valor de outros colegas que também realizaram a atividade.
- 6 A potência de uma lâmpada comum é 100 W. Quantas lâmpadas iguais a essa poderiam ser mantidas acesas, durante 1 s, usando a potência que você desenvolveu ao subir a escada?

Energia infinita!

Um fabricante de motores de automóveis deseja produzir mecanismos que quebrem seguidamente os recordes de velocidade. Haveria um limite para isso? Em outras palavras, o emprego de alta tecnologia na fabricação de motores que possibilitem aos veículos atingir velocidades fantásticas é uma fantasia ou pode se tornar realidade? A resposta a essa questão não é simples, uma vez que, no Universo, todo objeto só poderia ser acelerado até, no máximo, a velocidade da luz. A teoria da relatividade de Einstein mostrou que essa velocidade é um limite físico, não importando quanto se aprimore o motor dos carros.

A ideia de um objeto com velocidade infinita é estranha, pois, como vimos nesta unidade, todo corpo que se desloca possui energia de movimento, denominada energia cinética. Essa energia tem um valor que depende do quadrado da velocidade do objeto. Se fosse possível a um objeto atingir uma velocidade infinitamente grande, sua energia cinética também seria infinita. Um corpo com energia infinita parece coisa de ficção científica!

Mas deve existir outra razão, mais “científica”, para que a velocidade da luz seja o valor-limite. Segundo a teoria da relatividade, massa e energia são grandezas equivalentes, ou seja, a massa de um corpo é uma espécie de energia concentrada, diferentemente da concepção da Física Clássica, que considera essas grandezas independentes. Assim, à medida que fornecemos energia cinética para um corpo, por meio da variação de velocidade, parte dessa energia é acumulada sob a forma de massa. Uma quantidade infinita de energia acrescentaria uma quantidade também infinita de massa ao corpo. Assim, como a massa é uma medida da inércia, seria impossível aumentar ainda mais a velocidade desse objeto.



JOÃO PRUDENTE/PULSAR IMAGENS

O jabuti tem velocidade de aproximadamente 7,5 cm/s ou 0,075 m/s.

CHRISTOPHER PASATIER/REUTERS/LATINSTOCK



Os caças podem ultrapassar a velocidade de 340 m/s.



BOB SACHA/CORBIS/LATINSTOCK

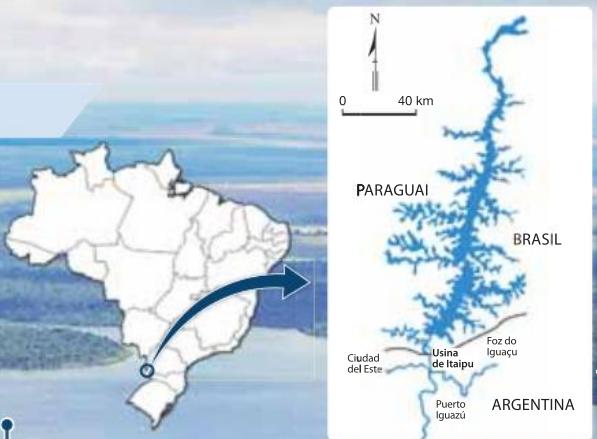
Um feixe de luz tem velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s.

AMPLIANDO SUA LEITURA

- 1** A Física Clássica e a teoria da relatividade de Einstein têm concepções diferentes das grandezas massa e energia. Em que diferem essas duas concepções?
- 2** De que maneira a concepção de massa aceita pela teoria da relatividade impede que um corpo atinja uma velocidade superior à da luz?

Como funciona uma usina hidrelétrica

As usinas hidrelétricas aproveitam a energia potencial gravitacional obtida pelo desnível de uma massa de água represada. Itaipu Binacional, que pertence ao Brasil e ao Paraguai e está localizada na fronteira entre os dois países, é a maior do Brasil em geração de energia e uma das maiores do mundo. Ela fornece 15% da energia elétrica consumida no Brasil e 75% da consumida no Paraguai. Entre 2008 e 2015, sua produção média anual foi de 92,3 milhões de megawatts-hora (MWh).

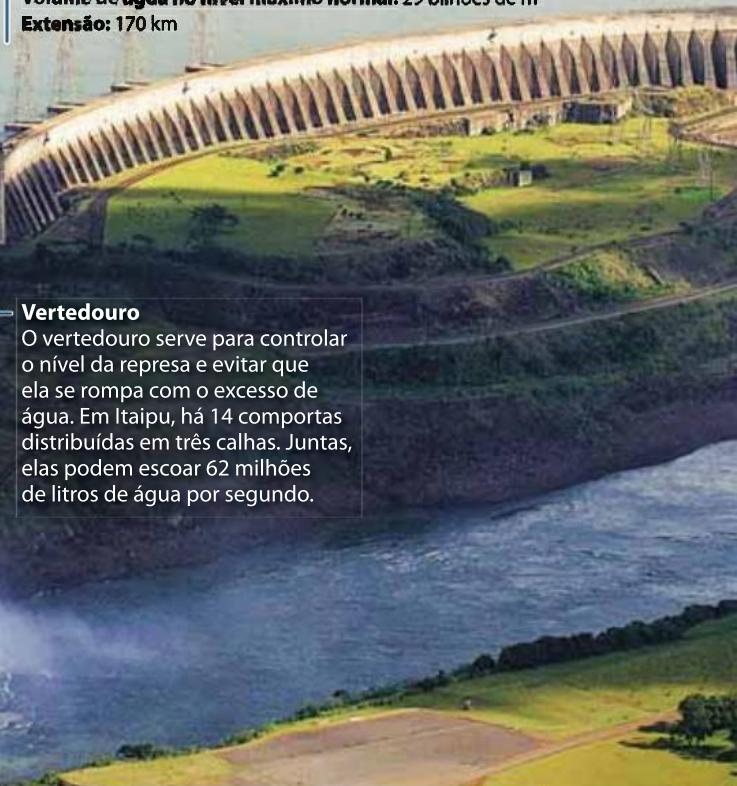


Reservatório

O reservatório de uma usina tem a função de produzir um desnível ou regularizar a vazão do rio. O lago de Itaipu pode conter até 29 trilhões de litros de água. Apesar de ser o sétimo maior reservatório do Brasil, Itaipu tem o maior aproveitamento em relação à área inundada. O índice de produção é de 10,4 MW por quilômetro quadrado alagado. A geração de energia de uma usina depende principalmente da vazão afluente e da altura de queda-d'água (desnível).

Volume de água no nível máximo normal: 29 bilhões de m³

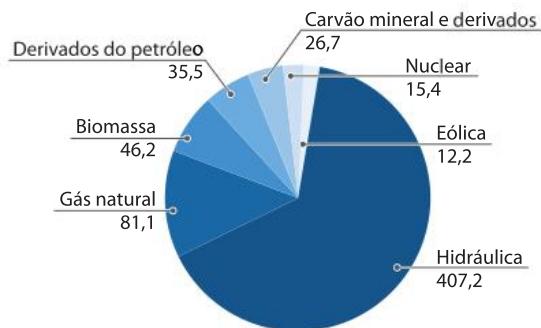
Extensão: 170 km



Vertedouro

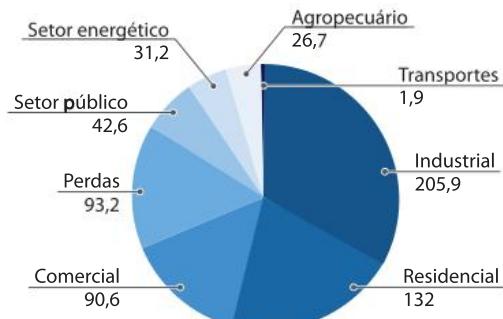
O vertedouro serve para controlar o nível da represa e evitar que ela se rompa com o excesso de água. Em Itaipu, há 14 comportas distribuídas em três calhas. Juntas, elas podem escoar 62 milhões de litros de água por segundo.

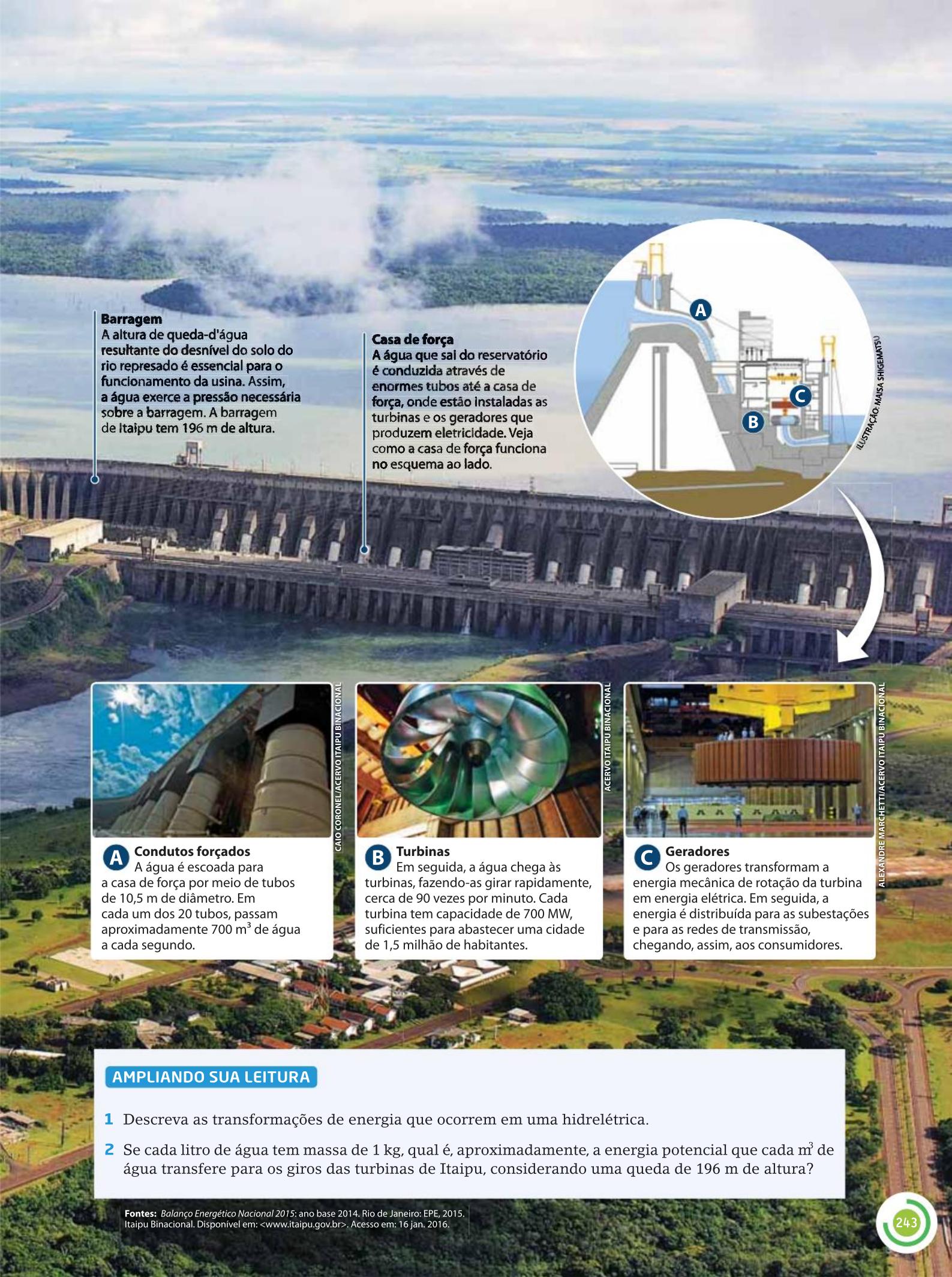
Origem da energia elétrica consumida no Brasil em 2014 (em TWh)*



* 1 TWh = 1 terawatt-hora = 10^{12} Wh

Consumo de energia elétrica no Brasil em 2014, por setor (em TWh)



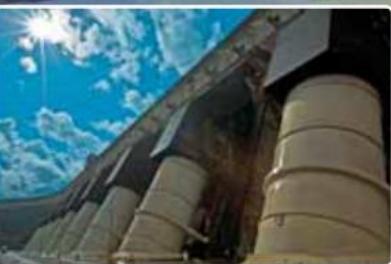
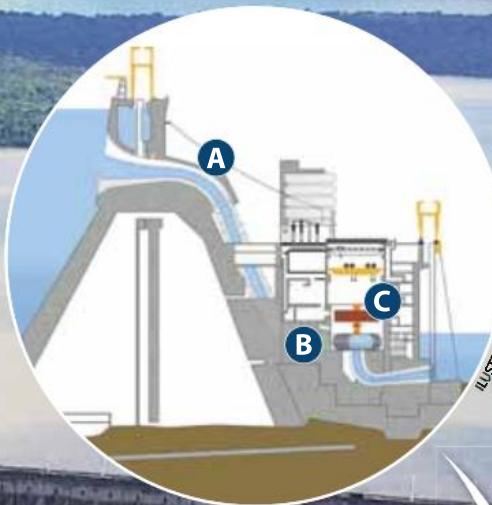


Barragem

A altura de queda-d'água resultante do desnível do solo do rio represado é essencial para o funcionamento da usina. Assim, a água exerce a pressão necessária sobre a barragem. A barragem de Itaipu tem 196 m de altura.

Casa de força

A água que sai do reservatório é conduzida através de enormes tubos até a casa de força, onde estão instaladas as turbinas e os geradores que produzem eletricidade. Veja como a casa de força funciona no esquema ao lado.



CAIO CORÔNEU/ACÉRVO ITAIPU BINACIONAL

A Condutos forçados

A água é escoada para a casa de força por meio de tubos de 10,5 m de diâmetro. Em cada um dos 20 tubos, passam aproximadamente 700 m³ de água a cada segundo.



ACÉRVO ITAIPU BINACIONAL

B Turbinas

Em seguida, a água chega às turbinas, fazendo-as girar rapidamente, cerca de 90 vezes por minuto. Cada turbina tem capacidade de 700 MW, suficientes para abastecer uma cidade de 1,5 milhão de habitantes.



ALEXANDRE MARCHETTI/ACÉRVO ITAIPU BINACIONAL

C Geradores

Os geradores transformam a energia mecânica de rotação da turbina em energia elétrica. Em seguida, a energia é distribuída para as subestações e para as redes de transmissão, chegando, assim, aos consumidores.

AMPLIANDO SUA LEITURA

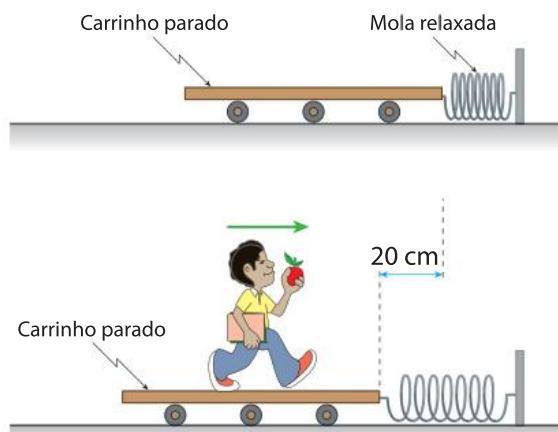
- 1 Descreva as transformações de energia que ocorrem em uma hidrelétrica.
- 2 Se cada litro de água tem massa de 1 kg, qual é, aproximadamente, a energia potencial que cada m³ de água transfere para os giros das turbinas de Itaipu, considerando uma queda de 196 m de altura?

QUESTÕES DE INTEGRAÇÃO

Lembre-se: resolva as questões no caderno.

- 1** (Vunesp) Um rapaz de 50 kg está inicialmente parado sobre a extremidade esquerda da plataforma plana de um carrinho em repouso, em relação ao solo plano e horizontal. A extremidade direita da plataforma do carrinho está ligada a uma parede rígida, por meio de uma mola ideal, de massa desprezível e de constante elástica 25 N/m, inicialmente relaxada.

O rapaz começa a caminhar para a direita, no sentido da parede, e o carrinho move-se para a esquerda, distendendo a mola. Para manter a mola distendida de 20 cm e o carrinho em repouso, sem deslizar sobre o solo, o rapaz mantém-se em movimento uniformemente acelerado.



Considerando o referencial de energia na situação da mola relaxada, determine o valor da energia potencial elástica armazenada na mola distendida de 20 cm e o módulo da aceleração do rapaz nessa situação.

- 2** (Udesc) Deixa-se cair um objeto de massa 500 g de uma altura de 5 m acima do solo. A alternativa que representa a velocidade do objeto, imediatamente antes de tocar o solo, desprezando-se a resistência do ar, é:

- a) 10 m/s c) 5,0 m/s e) 2,5 m/s
b) 7,0 m/s d) 15 m/s

- 3** (OBF) Uma partícula de massa m é erguida do solo até uma altura h , através de uma força constante \vec{F} , como ilustrado na figura. A partícula sobe em movimento retilíneo e uniforme. Os efeitos de resistência do ar são desprezados.

Considerando tal situação, determine a alternativa correta:

- a) A energia mecânica da partícula permanece constante durante todo o processo de subida.
b) A força \vec{F} não é conservativa.

- c) O trabalho realizado pela força \vec{F} é igual à variação da energia cinética da partícula.
d) Na subida, a energia cinética da partícula diminui, mas sua energia potencial gravitacional aumenta.
e) A energia potencial gravitacional da partícula não se altera durante o processo de subida.

- 4** (UFSM-RS) A tabela reproduz o rótulo de informações nutricionais de um pacote de farinha de trigo.

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL (Porção de 50 g ou 1/2 xícara de farinha de trigo)		
Quantidade de porção	%VD* (%)	
Valor energético	170 kcal = 714 kJ	9%
Carboidratos	36,0 g	12%
Proteínas	4,9 g	7%
Gorduras totais	0,7 g	1%
Gorduras saturadas	0,0 g	0%
Gorduras trans	0,0 g	-
Fibra alimentar	1,6 g	6%
Sódio	0,0 mg	0%
Ferro	2,1 mg	15%
Ácido fólico (vit. B9)	76 µg	19%

* VD = valor diário

Considerando o valor energético informado no rótulo, essa quantidade de energia corresponde ao trabalho realizado ao arrastar um corpo contra uma força de atrito de 50 N com velocidade constante, por uma distância de, aproximadamente:

- a) 3,4 m c) 1,4 km e) 14,3 km
b) 14,3 m d) 3,4 km

- 5** (PUC-RJ) Um elevador de 500 kg deve subir uma carga de 2,5 toneladas a uma altura de 20 metros, em um tempo inferior a 25 segundos. Qual deve ser a potência média mínima do motor do elevador, em kW?

(Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- a) 20 c) 24 e) 15
b) 16 d) 38

- 6** (UFRGS-RS) Observe o sistema formado por um bloco de massa m comprimindo uma mola de constante k , representado na figura abaixo.

