

Capítulo 7

Energia Potencial e Conservação da Energia

Energia potencial gravitacional e energia potencial elástica: o trabalho realizado por uma força gravitacional constante sobre uma partícula é representado como uma variação da energia potencial gravitacional $U_{\text{grav}} = mgy$. Essa energia é uma propriedade compartilhada entre a partícula e a Terra. Uma energia potencial também é associada com a força elástica $F_x = -kx$ exercida por uma mola ideal, sendo x a deformação da mola comprimida ou dilatada. O trabalho realizado por essa força pode ser representado como uma variação na energia potencial elástica da mola, $U_{\text{el}} = \frac{1}{2}kx^2$.

$$\begin{aligned} W_{\text{grav}} &= mgy_1 - mgy_2 \\ &= U_{\text{grav},1} - U_{\text{grav},2} \\ &= -\Delta U_{\text{grav}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{el}} &= \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 \\ &= U_{\text{el},1} - U_{\text{el},2} = -\Delta U_{\text{el}} \end{aligned}$$

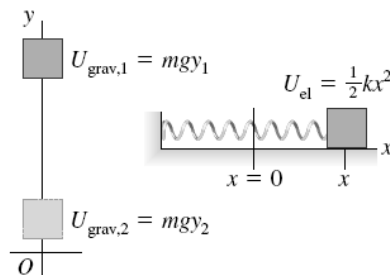
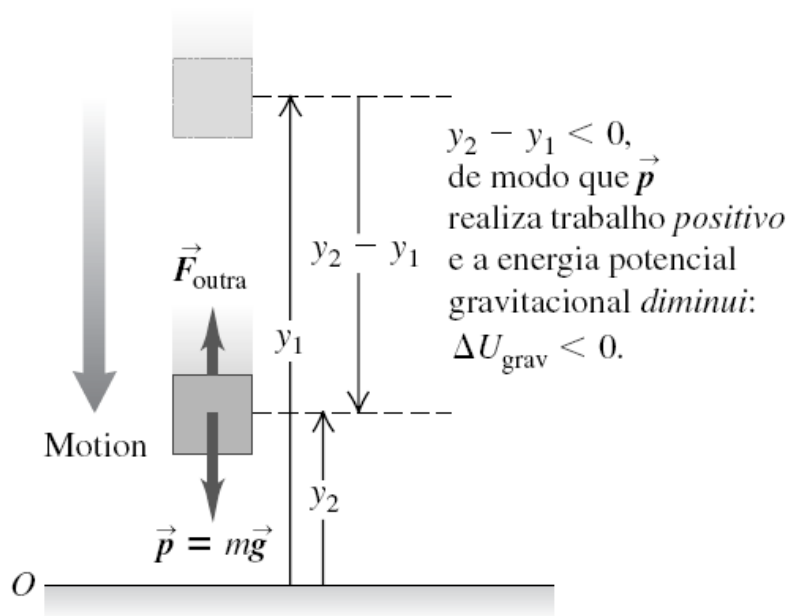




Figura 7.1 Quando uma bola de basquete cai, a energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética e a velocidade escalar da bola aumenta.

(a) Um corpo se move de cima para baixo.



(b) Um corpo se move de baixo para cima.

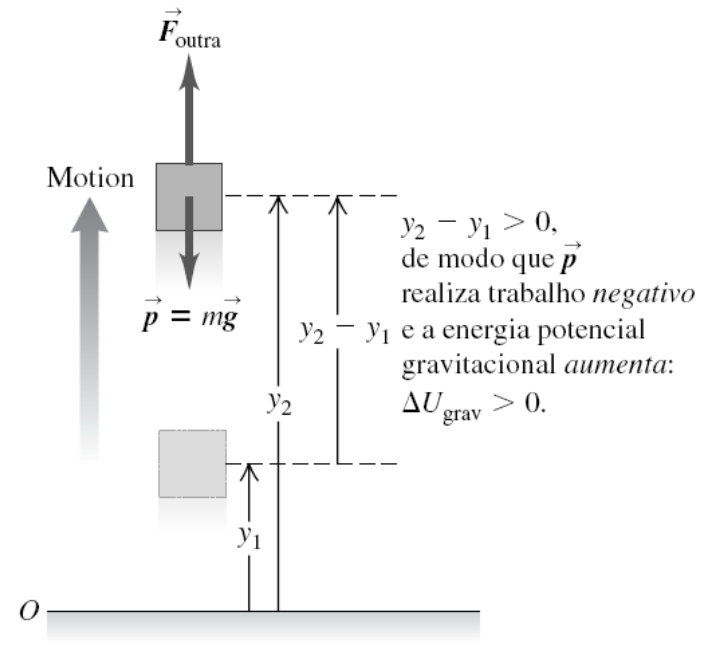
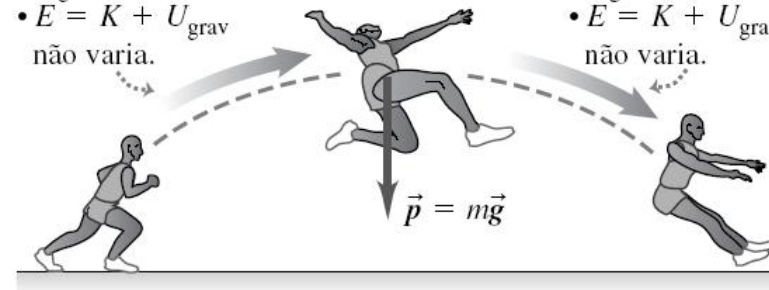


Figura 7.2 Durante o movimento vertical de um corpo desde uma altura inicial y_1 até uma altura final y_2 , um trabalho é realizado pela força gravitacional \vec{p} e a energia potencial gravitacional sofre variação.



No movimento de baixo para cima:

- K diminui.
- U_{grav} aumenta.
- $E = K + U_{\text{grav}}$ não varia.



No movimento de cima para baixo:

- K aumenta.
- U_{grav} diminui.
- $E = K + U_{\text{grav}}$ não varia.

Figura 7.3 No intervalo de tempo em que este atleta está no ar, somente a gravidade realiza trabalho sobre ele (desprezando-se os pequenos efeitos da resistência do ar). A energia mecânica E – a soma da energia cinética com a energia potencial gravitacional – se conserva.

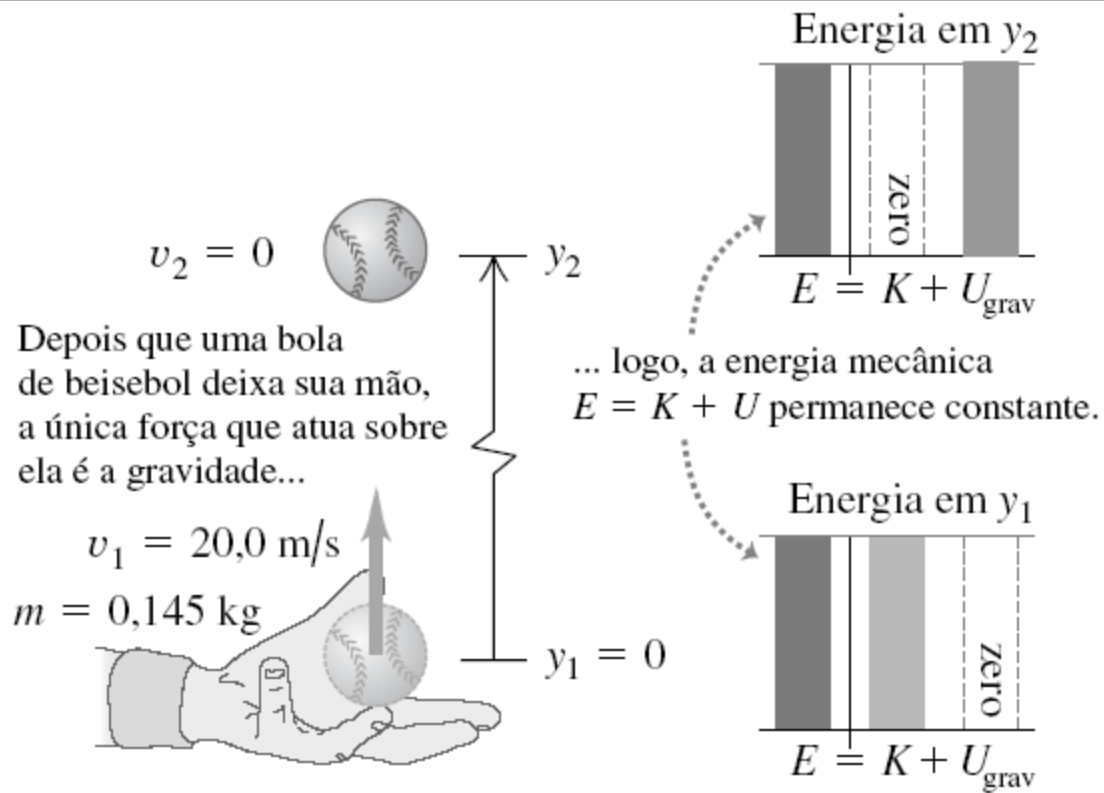
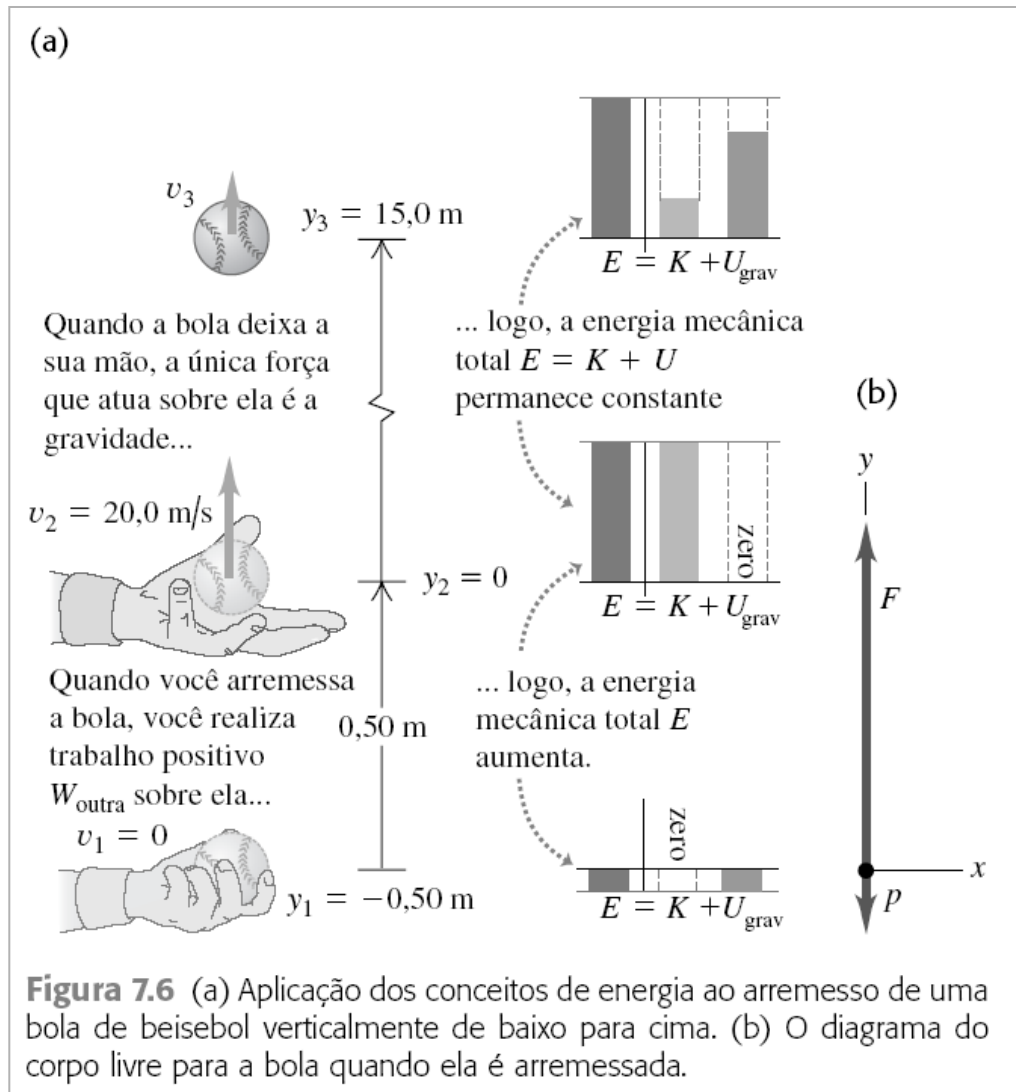
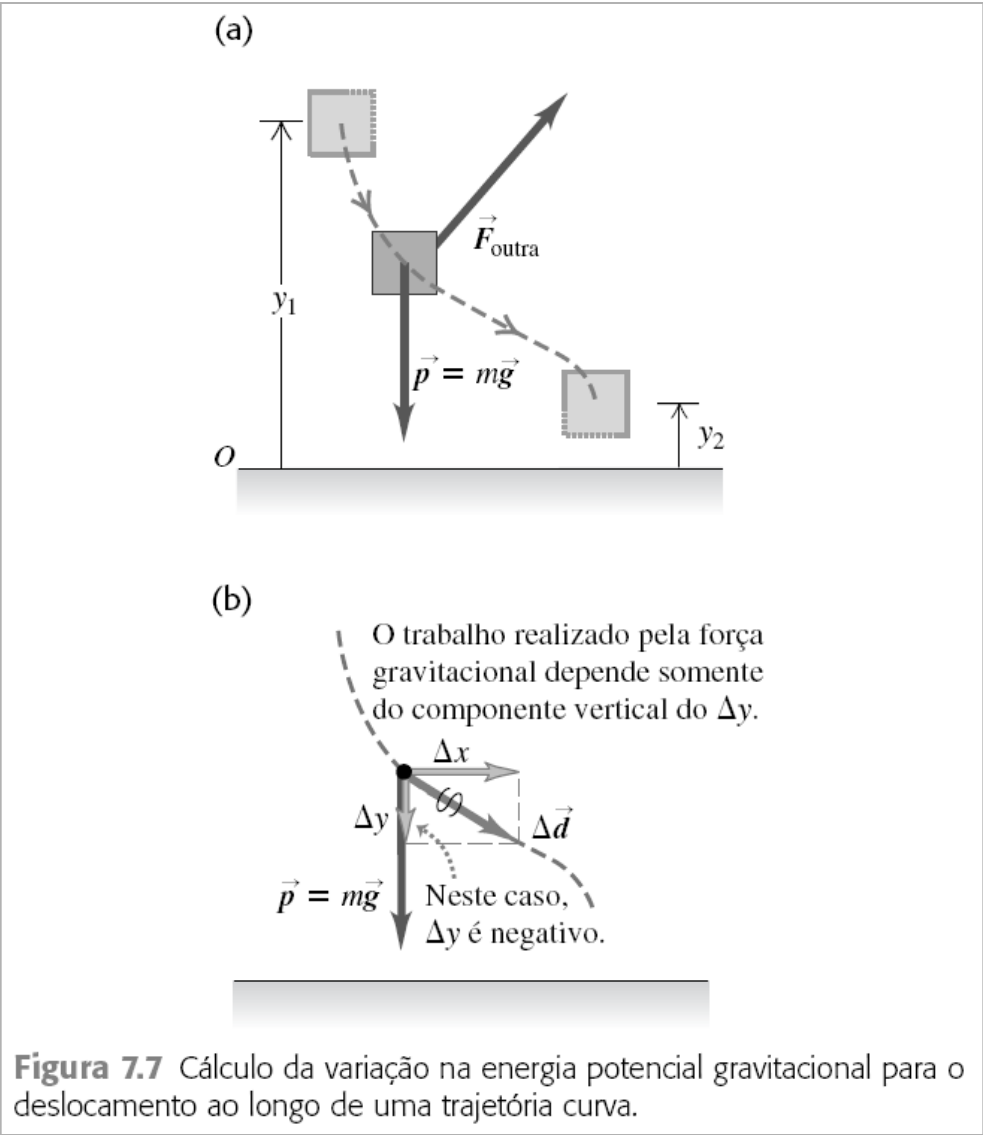


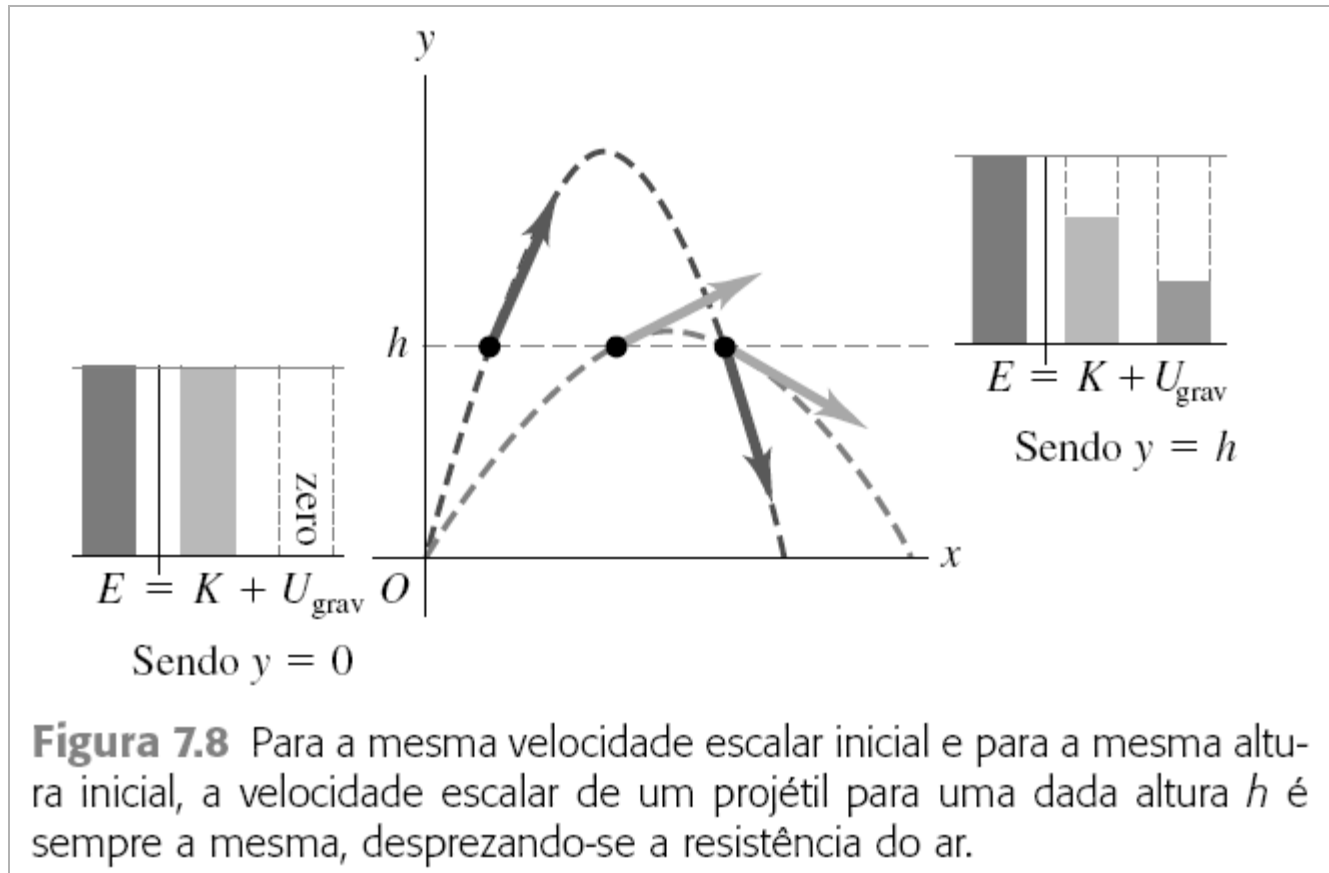
Figura 7.4 Depois que uma bola de beisebol deixa sua mão, a energia mecânica $E = K + U$ é conservada.

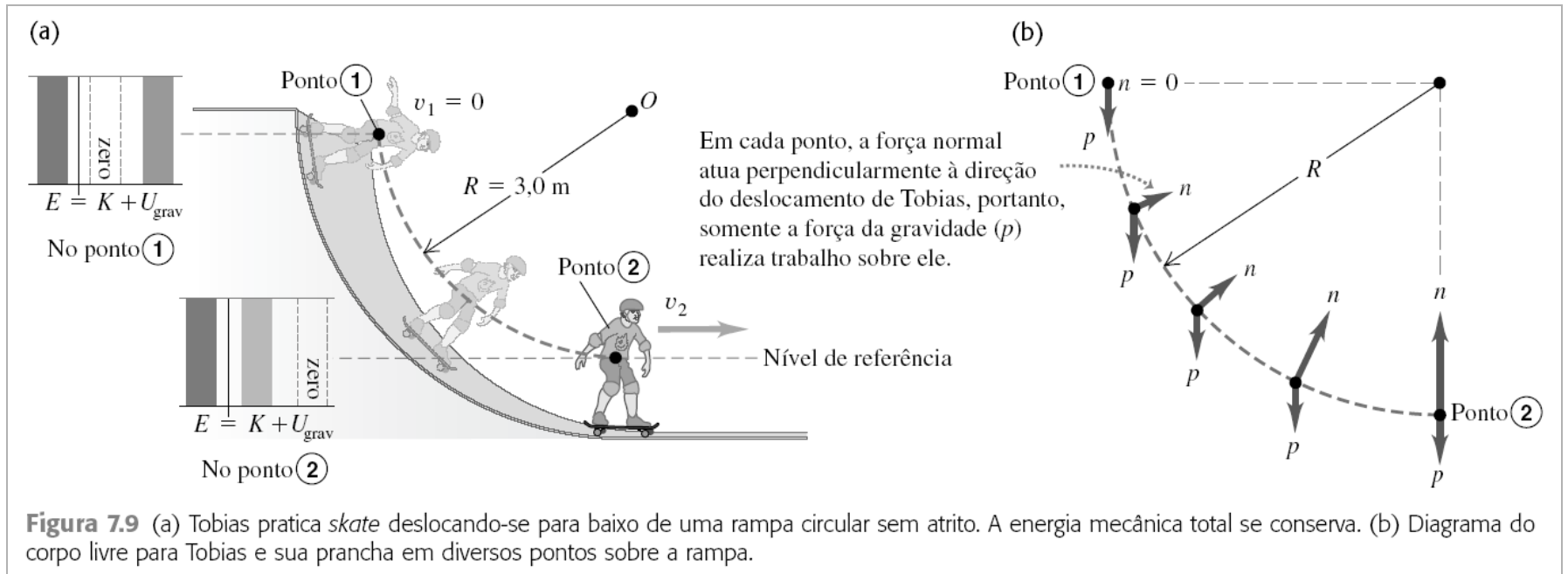


Figura 7.5 Enquanto este pára-quedista se move de cima para baixo, a força de baixo para cima da resistência do ar realiza trabalho negativo W_{outra} sobre ele. Portanto, a energia mecânica total $E = K + U$ diminui: a velocidade escalar do pára-quedista e a energia cinética K permanecem constantes, enquanto a energia potencial gravitacional U diminui.









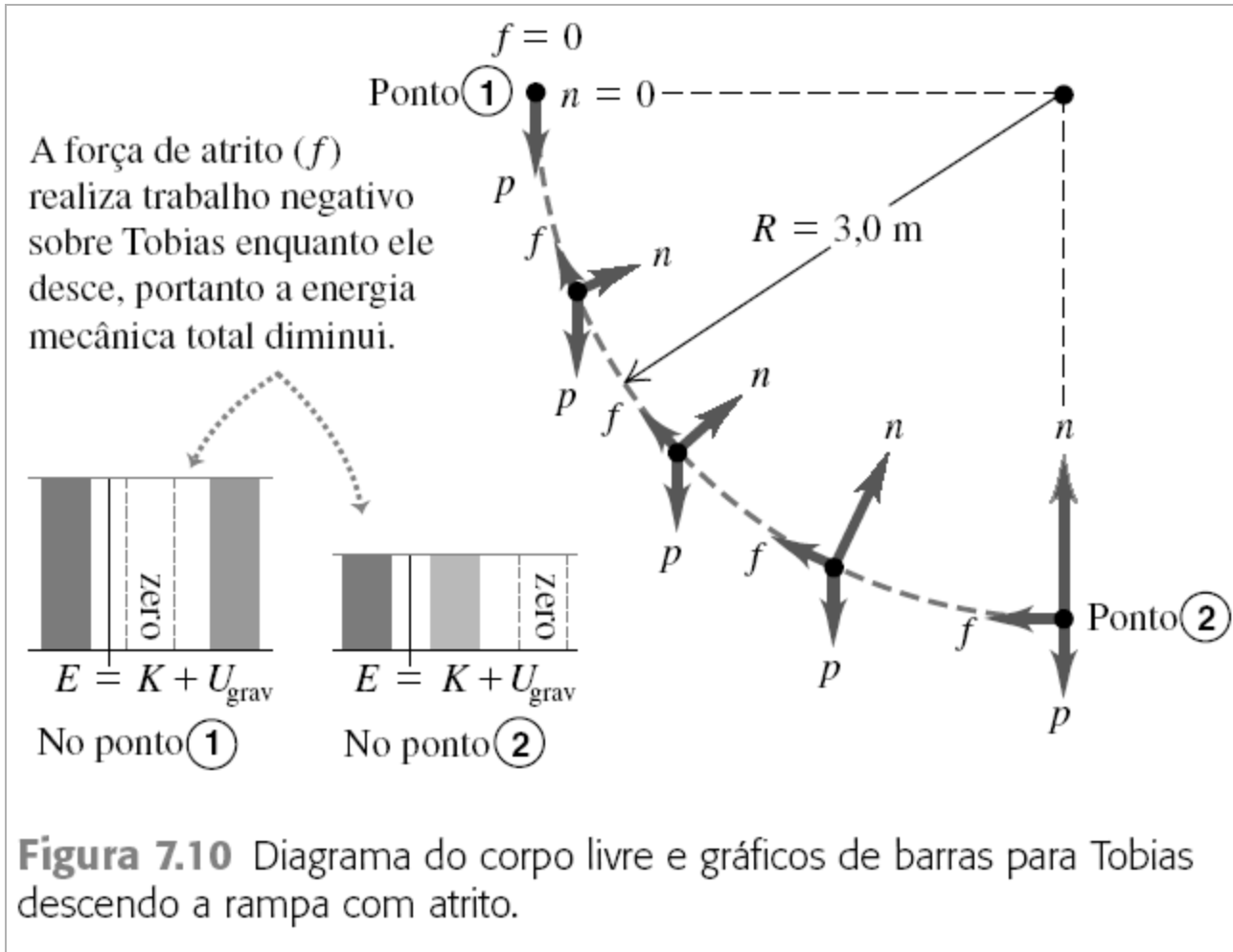
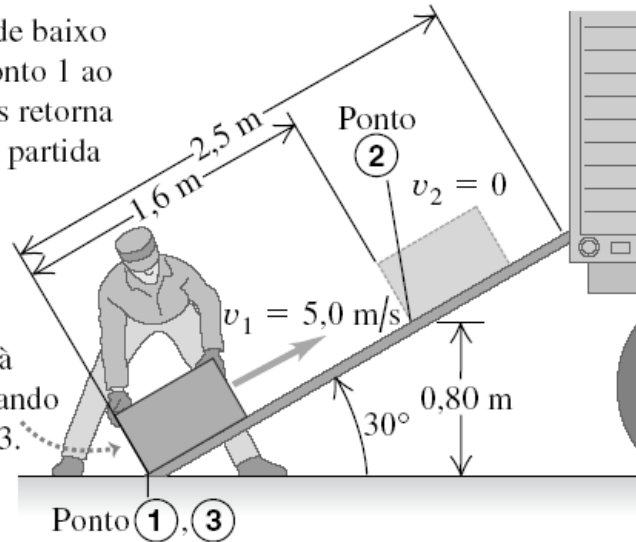


Figura 7.10 Diagrama do corpo livre e gráficos de barras para Tobias descendo a rampa com atrito.

- (a) A caixa desliza de baixo para cima, do ponto 1 ao ponto 2, e depois retorna à sua posição de partida (ponto 3).

A caixa se move à velocidade v_3 quando retorna ao ponto 3.



A força de atrito realiza trabalho negativo sobre a caixa enquanto ela se move, de modo que a energia mecânica total $E = K + U_{\text{grav}}$ diminui.

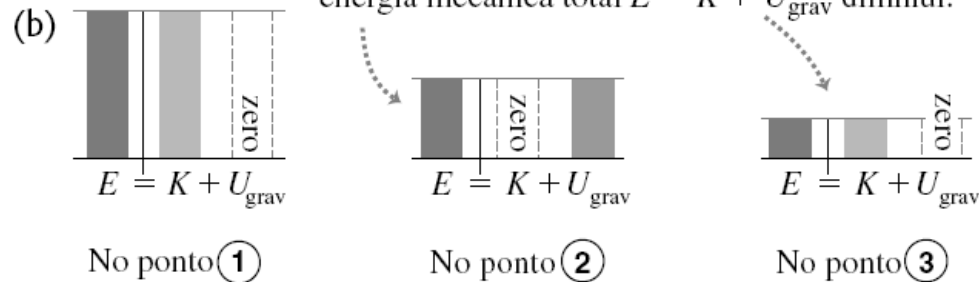
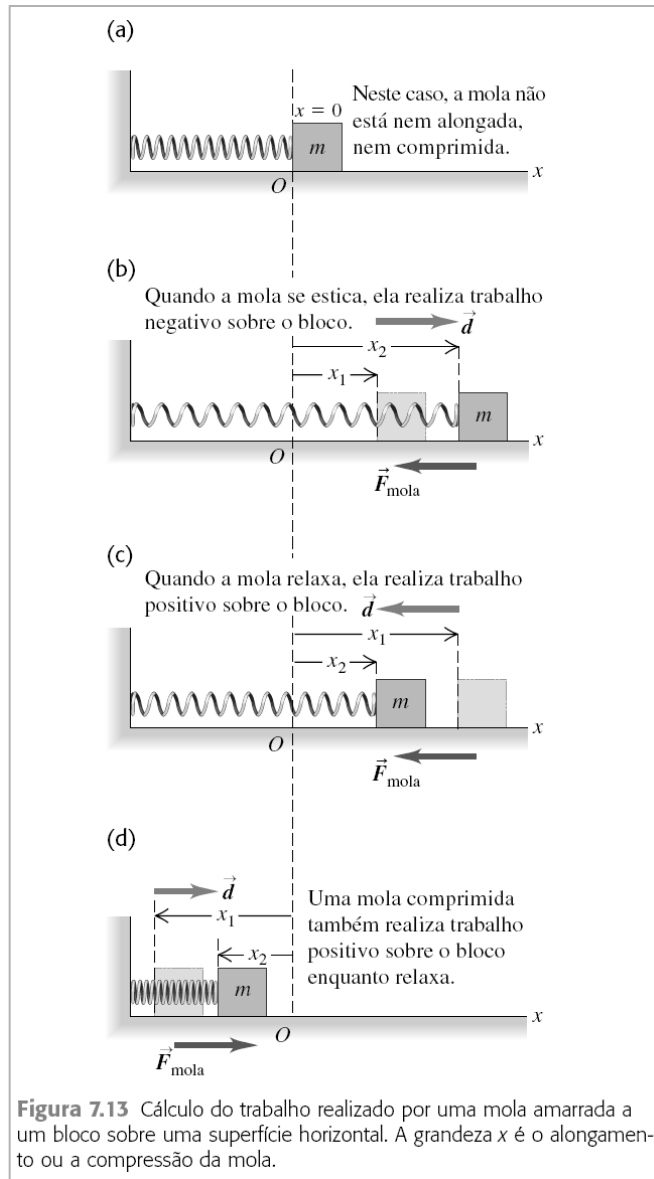


Figura 7.11 (a) Uma caixa desliza de baixo para cima até certo trecho de uma rampa, pára e desliza de volta para baixo. (b) Gráficos de barras para a energia nos pontos 1, 2 e 3.



Figura 7.12 O tendão de Aquiles, que une a parte de trás do tornozelo ao osso do calcanhar, funciona como uma mola natural. Quando se estica e relaxa, armazena e liberta energia potencial elástica. A ação dessa mola faz reduzir o trabalho realizado pelos músculos de sua perna quando você corre.



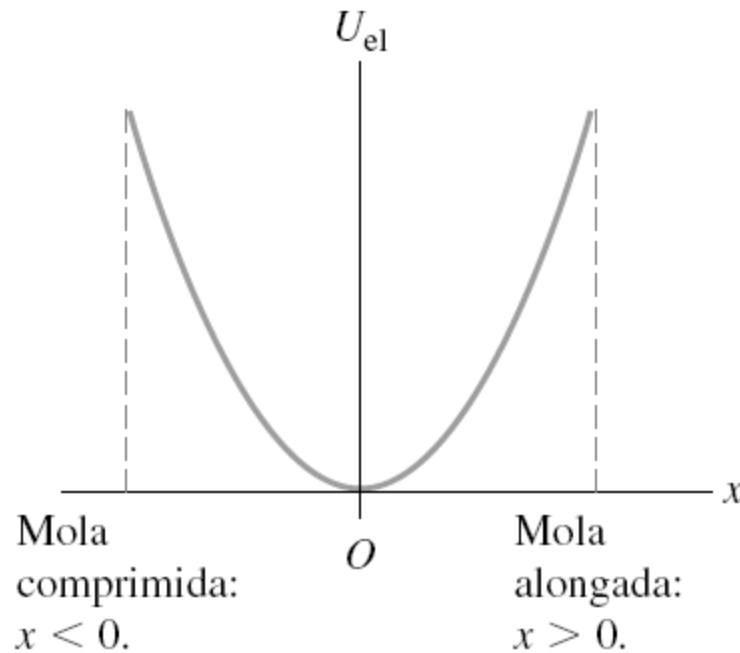


Figura 7.14 O gráfico da energia potencial elástica da mola ideal é uma parábola: $U_{el} = 1/2kx^2$, em que x é o alongamento ou a compressão da mola. A energia potencial elástica U_{el} nunca pode ser negativa.



Figura 7.15 A queda de um saltador de *bungee jumping* envolve uma inter-relação entre a energia cinética, a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica. Devido à resistência do ar e às forças de atrito dentro da corda do *bungee*, a energia mecânica não é conservada. (Se a energia mecânica *fosse* conservada, o saltador permaneceria oscilando para cima e para baixo eternamente!)

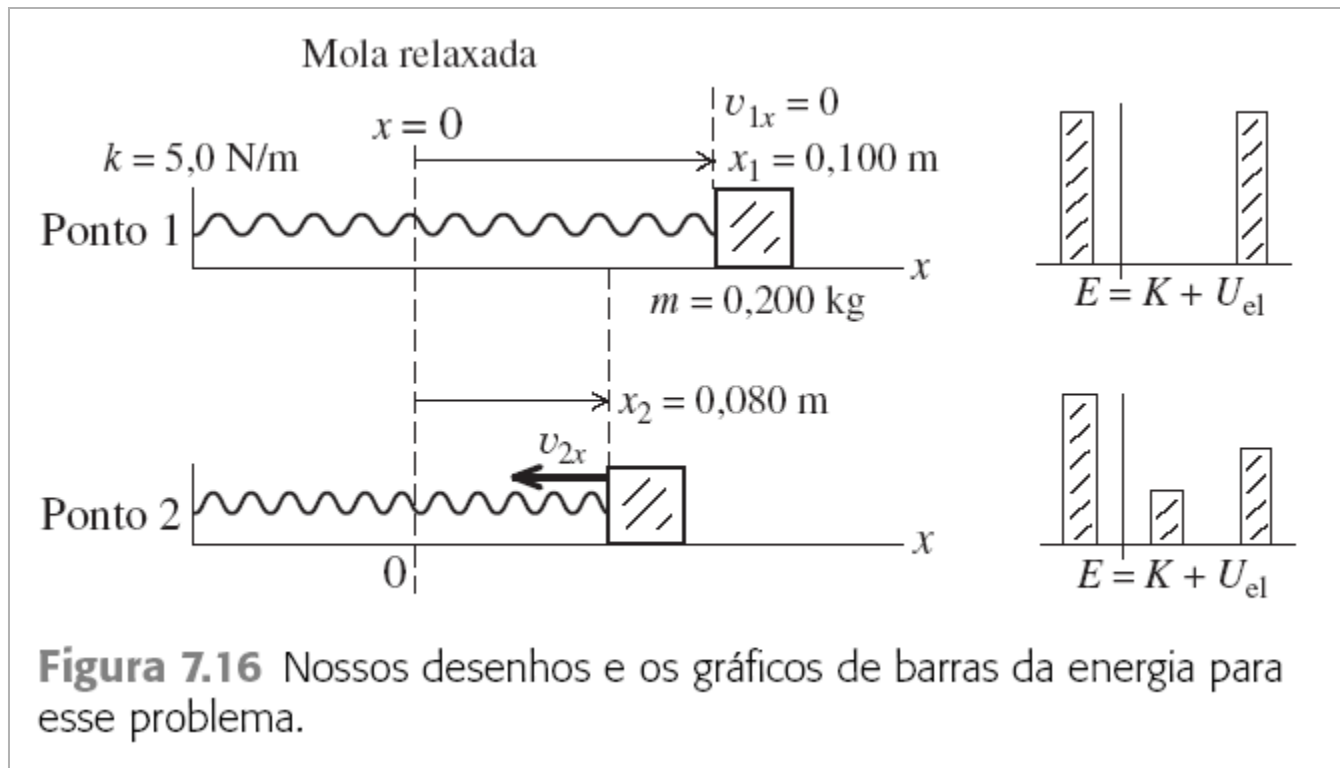


Figura 7.16 Nossos desenhos e os gráficos de barras da energia para esse problema.

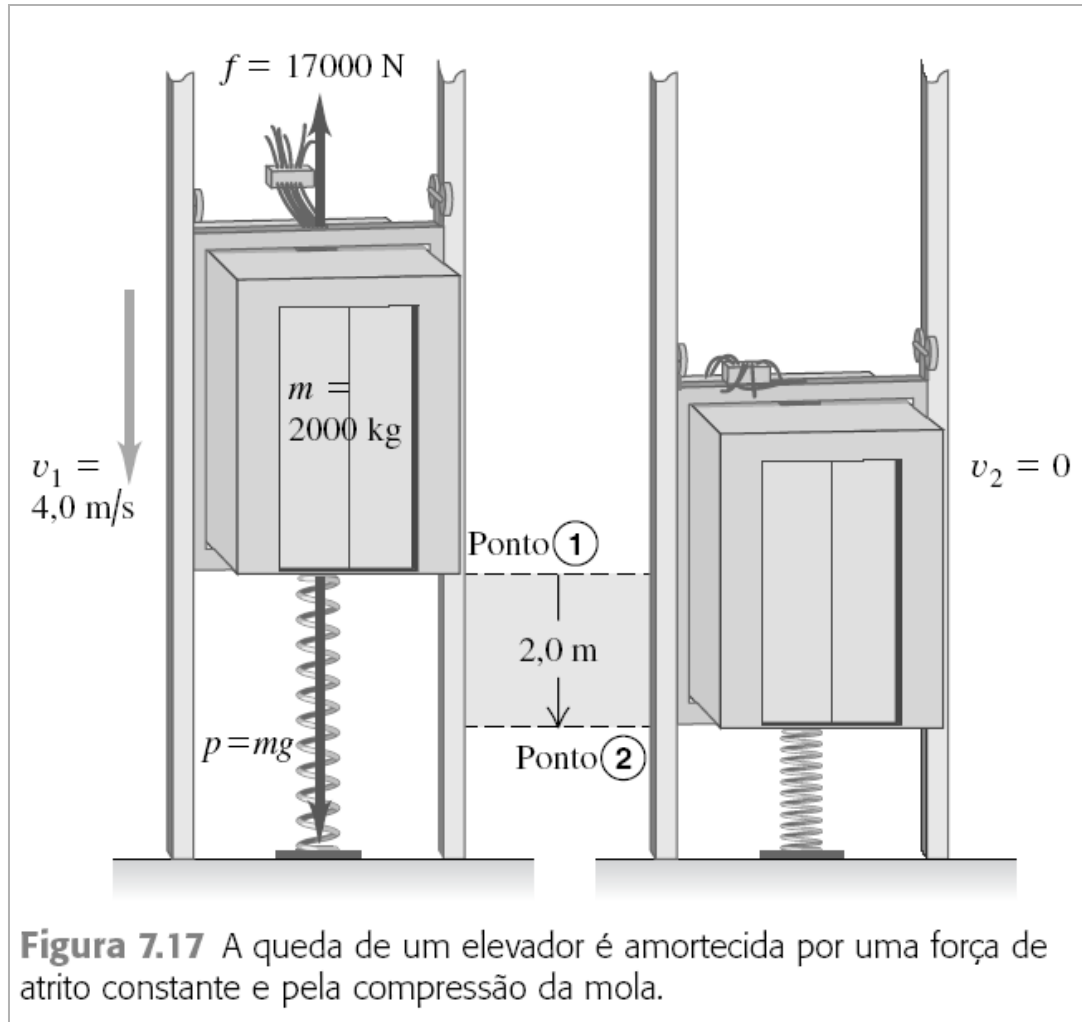


Figura 7.17 A queda de um elevador é amortecida por uma força de atrito constante e pela compressão da mola.

Quando a energia mecânica total é conservada: a energia potencial total U é a soma da energia potencial gravitacional com a energia potencial elástica: $U = U_{\text{grav}} + U_{\text{el}}$. Se apenas a força gravitacional e a força elástica realizam trabalho sobre uma partícula, existe conservação da soma da energia cinética com a energia potencial. A soma $E = K + U$ é chamada de energia mecânica total.

Quando a energia mecânica não é conservada: quando além da força gravitacional e da força elástica outras forças realizam trabalho sobre uma partícula, o trabalho realizado W_{outra} pela resultante das outras forças é igual à variação da energia mecânica total do sistema (soma da energia cinética com a energia potencial).

Forças conservativas, forças não conservativas e a lei da conservação de energia: uma força pode ser conservativa ou não conservativa. Uma força é conservativa quando a relação trabalho-energia cinética é completamente reversível. O trabalho realizado por uma força conservativa pode ser sempre representado pela variação de uma energia potencial, porém o trabalho realizado por uma força não conservativa não pode. O trabalho realizado por uma força conservativa se manifesta por meio da variação da energia interna de corpos. Permanece sempre conservada a soma total da variação da energia cinética com a variação da energia potencial mais a variação da energia interna.

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

Sendo $y = h$
 $E = K + U_{\text{grav}}$

Sendo $y = 0$
 $E = K + U_{\text{grav}}$

$$K_1 + U_1 + W_{\text{outra}} = K_2 + U_2$$

No ponto 1 $E = K + U_{\text{grav}}$

No ponto 2 $E = K + U_{\text{grav}}$

$$\Delta K + \Delta U + \Delta U_{\text{int}} = 0$$

Quando o atrito reduz a velocidade do bloco, a energia mecânica é convertida em energia interna do bloco e da rampa.

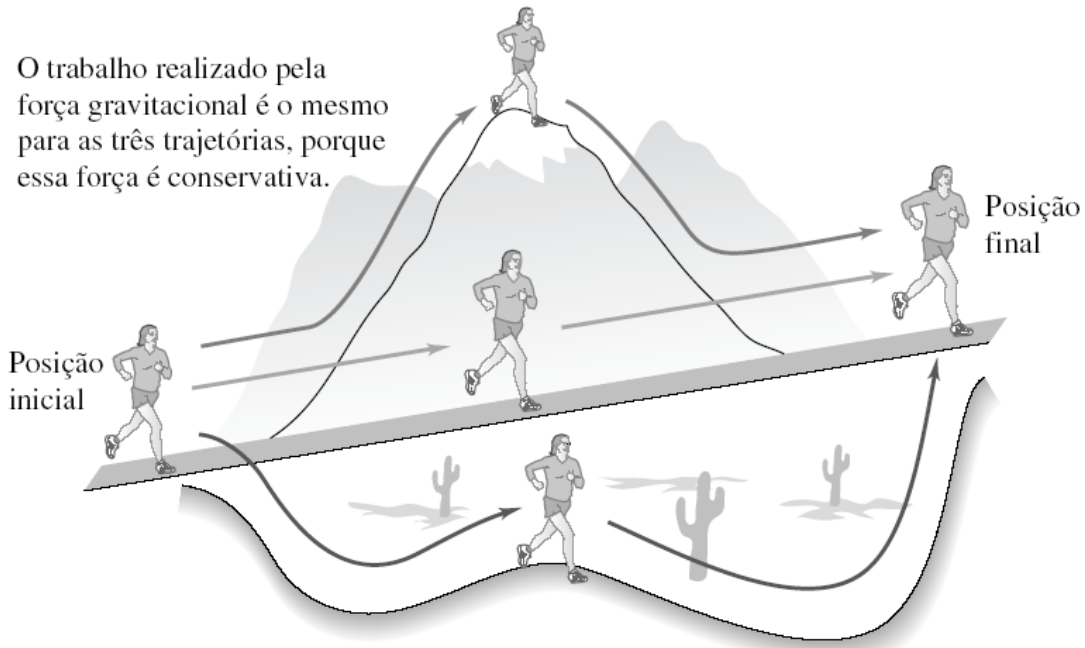
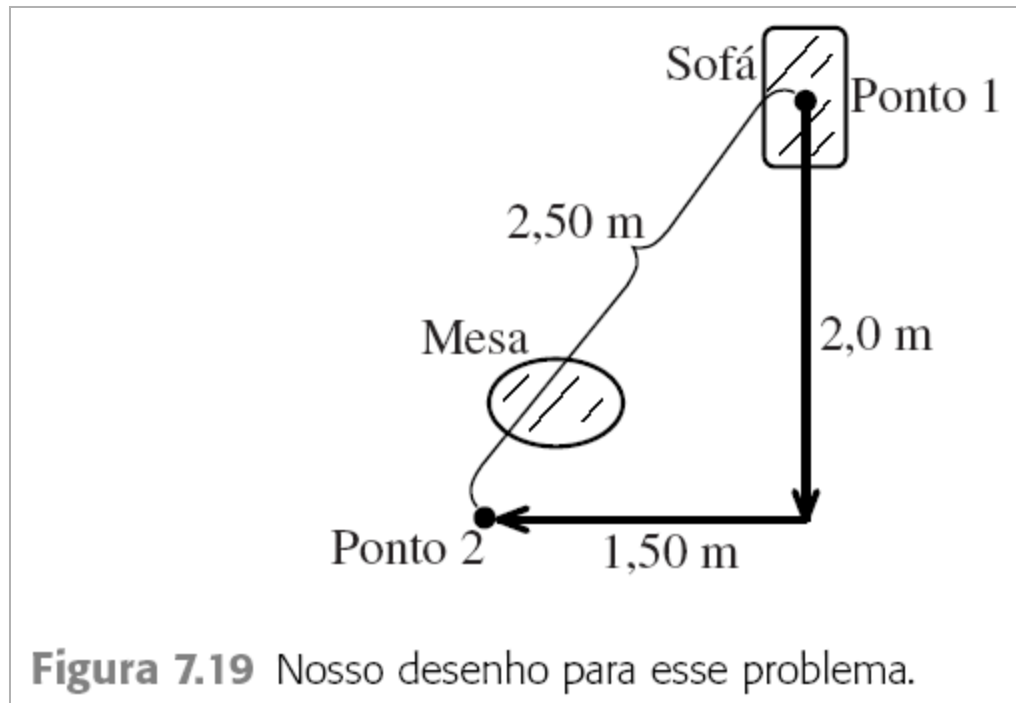


Figura 7.18 O trabalho realizado por uma força conservativa depende apenas do ponto inicial e do ponto final de uma trajetória, não da trajetória específica percorrida entre esses pontos.



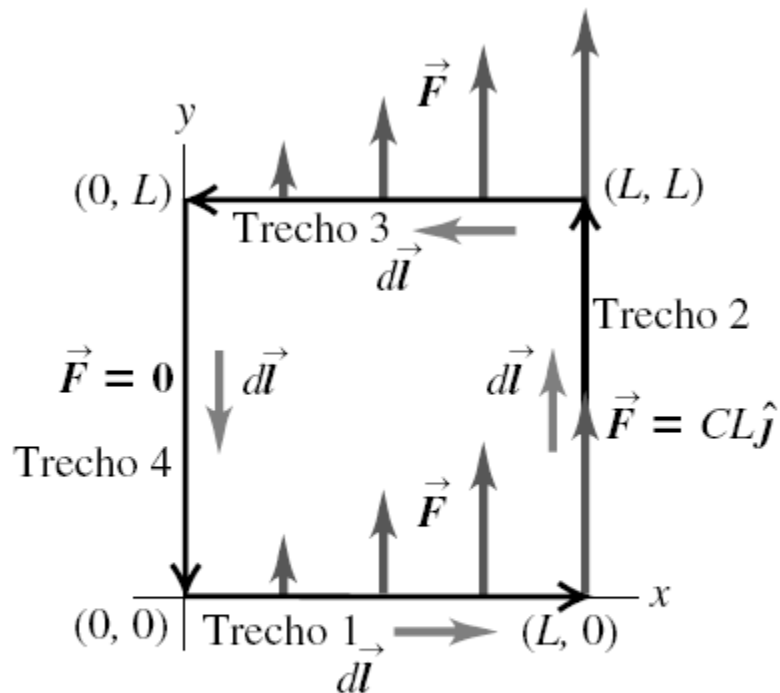
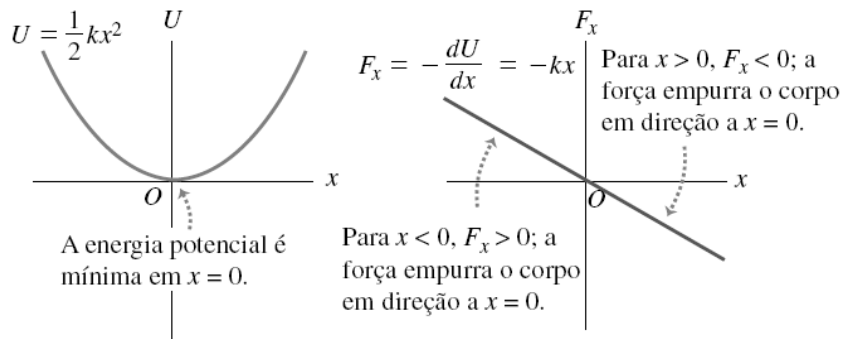


Figura 7.20 Uma força $\vec{F} = Cx\hat{j}$ atua sobre um elétron que percorre uma trajetória quadrada.



Figura 7.21 Quando um litro de gasolina queima no motor de um automóvel, ela liberta uma energia interna igual a $3,3 \times 10^7$ J. Logo, $\Delta U_{\text{int}} = -3,3 \times 10^7$ em que o sinal negativo indica que a quantidade de energia armazenada na gasolina diminuiu. Essa energia pode ser convertida em energia cinética (acelerando um carro) ou em energia potencial (fazendo o carro subir um morro).

(a) Energia potencial e força da mola em função de x .



(b) Energia potencial gravitacional e força em função de y .

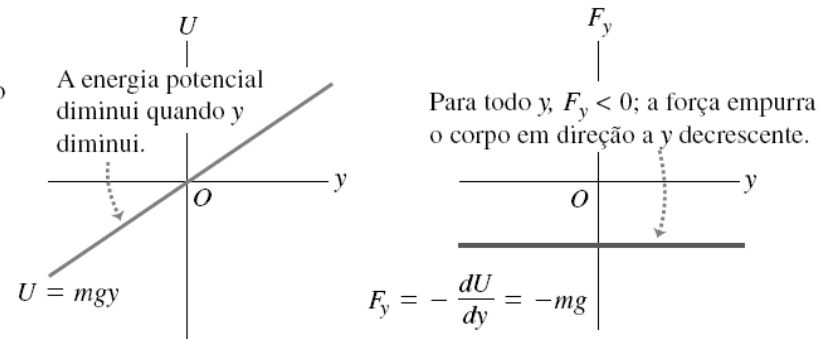


Figura 7.22 Uma força conservativa é a derivada negativa da energia potencial correspondente.