

Capítulo 5

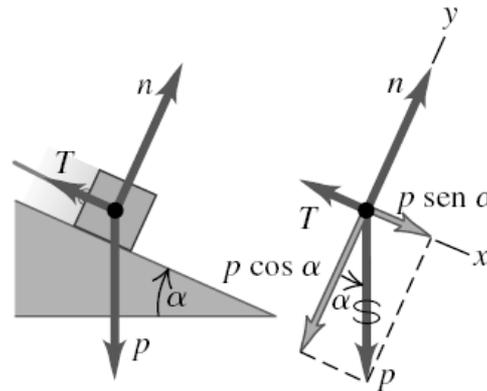
Aplicações das Leis de Newton

Uso da primeira lei de Newton: quando um corpo está em equilíbrio em um sistema de referência inercial, a soma vetorial das forças que atuam sobre ele é igual a zero (primeira lei de Newton). O diagrama do corpo livre é essencial para identificar as forças que atuam sobre o corpo. A terceira lei de Newton (ação e reação) é também geralmente necessária em problemas de equilíbrio. As duas forças de um par de ação e reação nunca atuam sobre o mesmo corpo (exemplos 5.1–5.5).

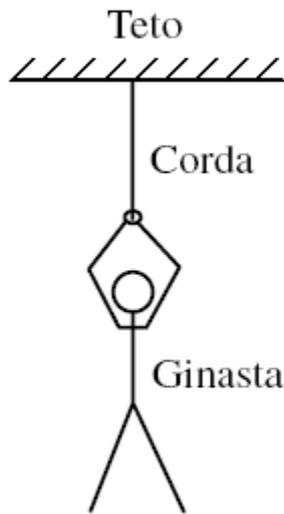
A força normal exercida sobre um corpo por uma superfície nem sempre é igual ao peso do corpo.

$$\sum \vec{F} = \mathbf{0} \quad (\text{forma vetorial}) \quad (5.1)$$

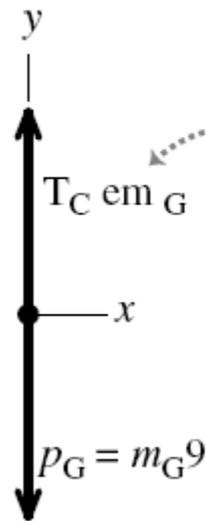
$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned} \quad (\text{forma dos componentes}) \quad (5.2)$$



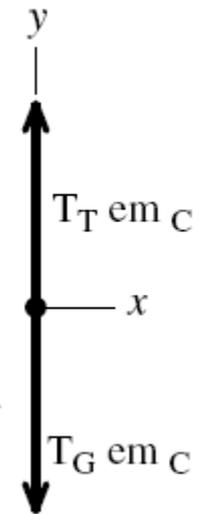
(a) A situação.



(b) Diagrama do corpo livre para a ginasta.



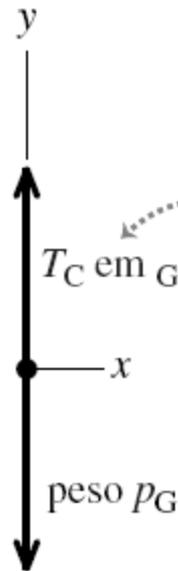
(c) Diagrama do corpo livre para a corda.



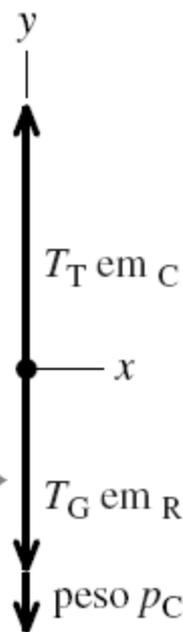
Par de ação e reação

Figura 5.1 Nossos desenhos para esse problema.

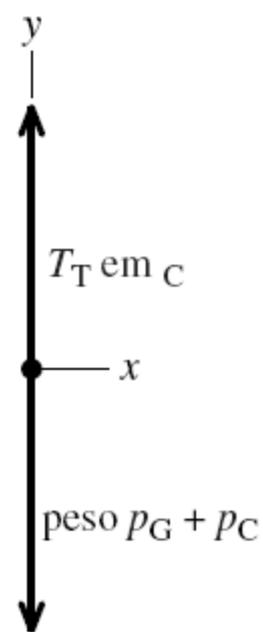
(a) Diagrama do corpo livre para a ginasta.



(b) Diagrama do corpo livre para a corda.



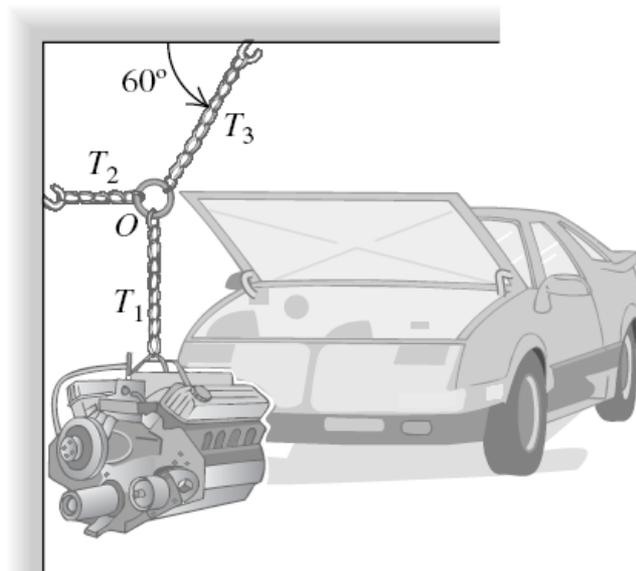
(c) Diagrama do corpo livre para a ginasta e a corda, como um corpo composto.



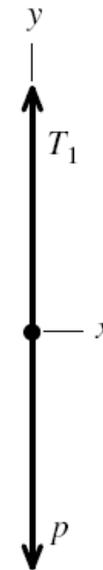
Par de ação e reação

Figura 5.2 Nossos desenhos para esse problema, incluindo o peso da corda.

(a) Motor, correntes e anel.



(b) Diagrama do corpo livre para o motor.



(c) Diagrama do corpo livre para o anel O.

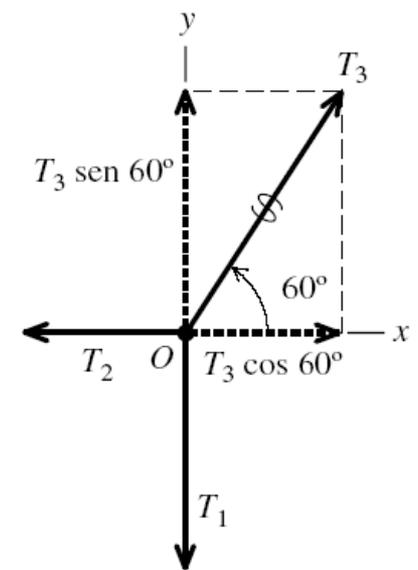
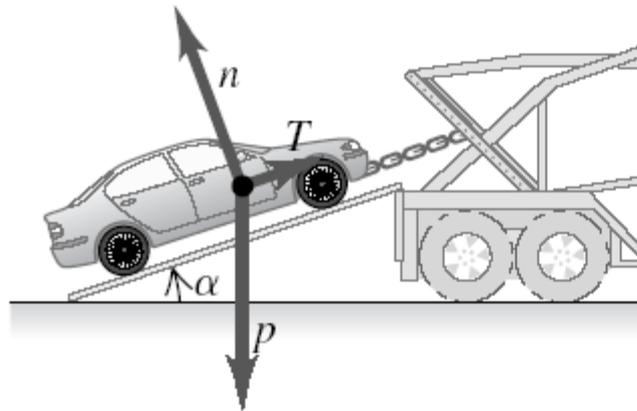


Figura 5.3 (a) A situação; (b) e (c) Nossos diagramas do corpo livre.

(a) Carro sobre a rampa.



(b) Diagrama do corpo livre para o carro.

Substituímos o peso pelos seus componentes.

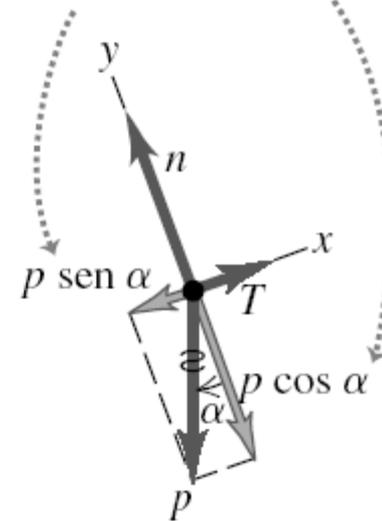
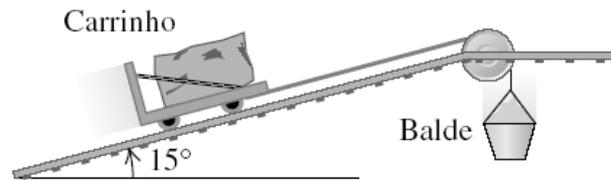
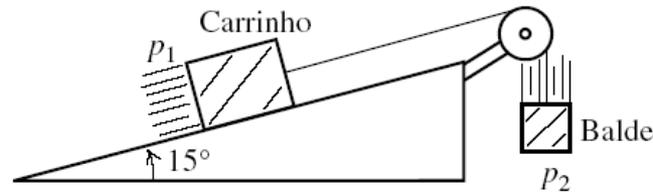


Figura 5.4 Um cabo mantém um carro em repouso sobre uma rampa.

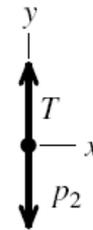
(a) Balde cheio de barro puxa carrinho com bloco de granito.



(b) Modelo idealizado do sistema.



(c) Diagrama do corpo livre para o balde.



(d) Diagrama do corpo livre para o carrinho.

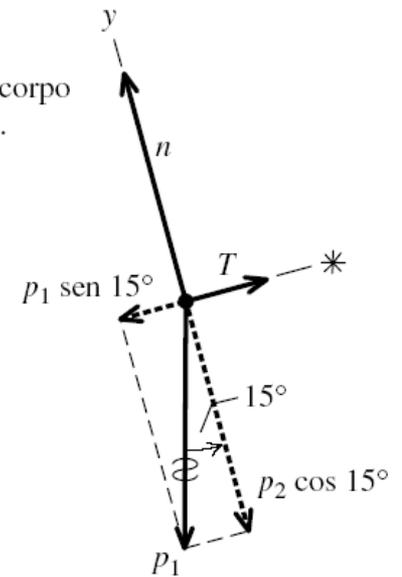


Figura 5.5 (a) A situação. (b) Nosso modelo idealizado. (c), (d) Nossos diagramas do corpo livre.

Uso da segunda lei de Newton: quando a soma vetorial das forças que atuam sobre um corpo não é igual a zero, o corpo possui uma aceleração dada pela segunda lei de Newton.

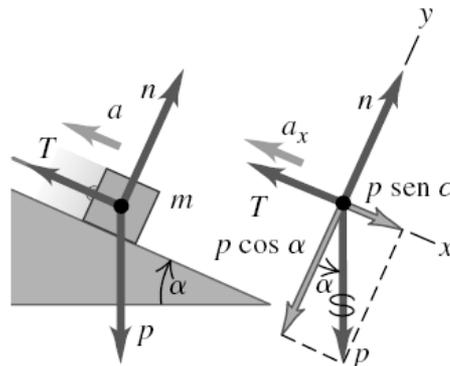
Como no caso dos problemas envolvendo equilíbrio, o diagrama do corpo livre é essencial para a solução de problemas envolvendo a segunda lei de Newton, e a força normal exercida sobre um corpo nem sempre é igual ao seu peso.

Forma vetorial:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (5.3)$$

Forma dos componentes:

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y \quad (5.4)$$

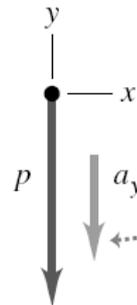


(a)



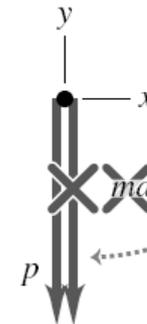
Somente a força da gravidade atua sobre um corpo em queda livre.

b) Diagrama do corpo livre correto.



◀ CERTO!
Você pode seguramente desenhar o vetor de aceleração ao lado do diagrama.

(c) Diagrama do corpo livre incorreto.



◀ ERRADO
Este vetor não pertence a um diagrama do corpo livre porque $m\vec{a}$ não é uma força.

Figura 5.6 Diagrama do corpo livre correto e incorreto, para um corpo em queda livre.

(a) Um barco projetado para deslizar no gelo e o velejador sobre uma superfície sem atrito.



(b) Diagrama do corpo livre para o barco e o velejador.

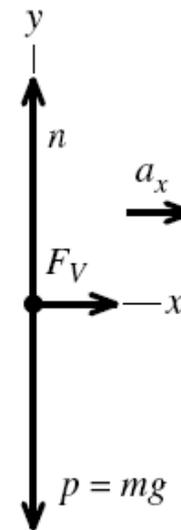


Figura 5.7 (a) A situação. (b) Nosso diagrama do corpo livre.

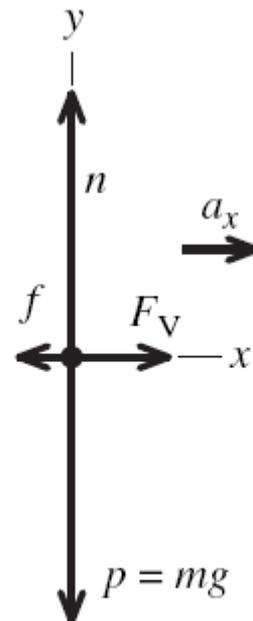
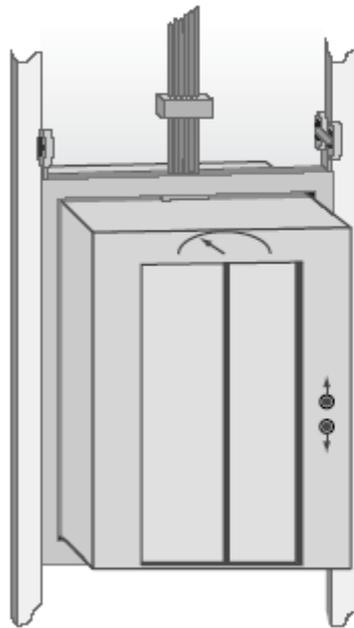


Figura 5.8 Diagrama do corpo livre para o barco e o velejador considerando uma força de atrito \vec{f} que se opõe ao movimento.

(a) Elevador descendo.



Movendo-se para
baixo com velocidade
decrecente.

(b) Diagrama do corpo
livre para o elevador.

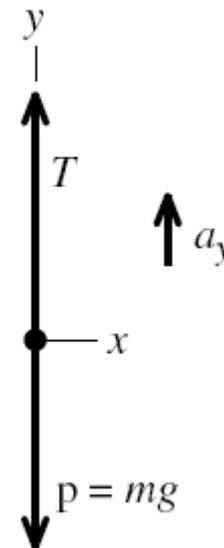


Figura 5.9 (a) A situação. (b) Nosso diagrama do corpo livre.

(a) Passageira de um elevador que desce.



Movimento para baixo,
com redução na
velocidade escalar.

(b) Diagrama do corpo livre para a passageira.

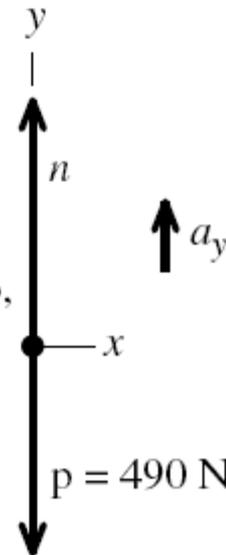
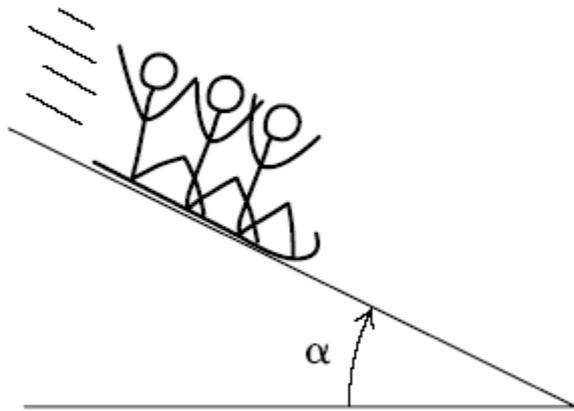


Figura 5.10 (a) A situação. (b) Nosso diagrama do corpo livre.



Figura 5.11 Um astronauta em órbita não sente seu peso porque ele possui a mesma aceleração da espaçonave — e *não* porque ele está 'fora da atração da gravidade da Terra'. (Se estivesse, o astronauta e a espaçonave não poderiam permanecer em órbita, e sim sairiam da atração terrestre e voariam para o espaço sideral.)

(a) A situação.



(b) Diagrama do corpo livre para o tobogã.

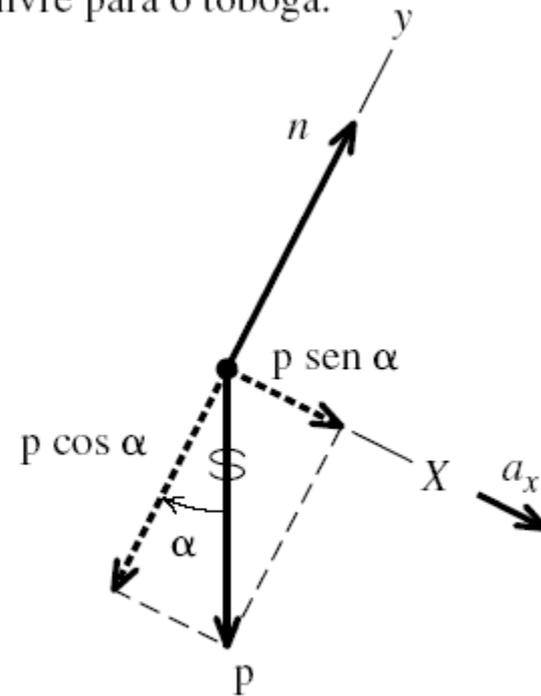
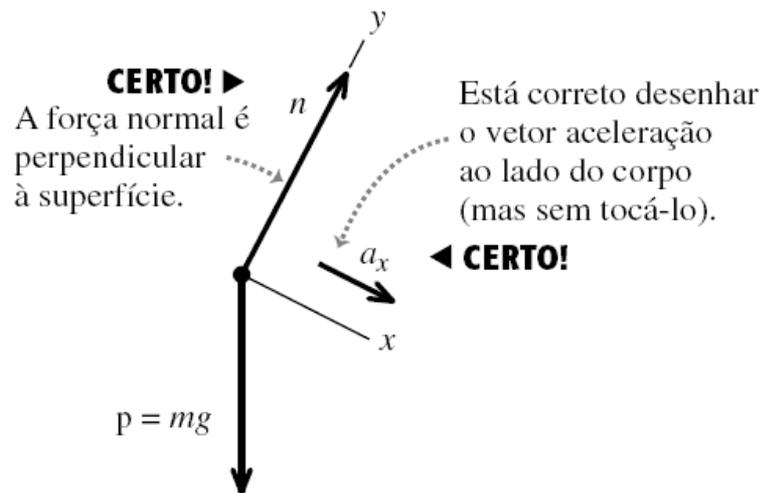


Figura 5.12 Nossos esquemas para esse problema.

(a) Diagrama do corpo livre correto para o trenó.



(b) Diagrama do corpo livre incorreto para o trenó.

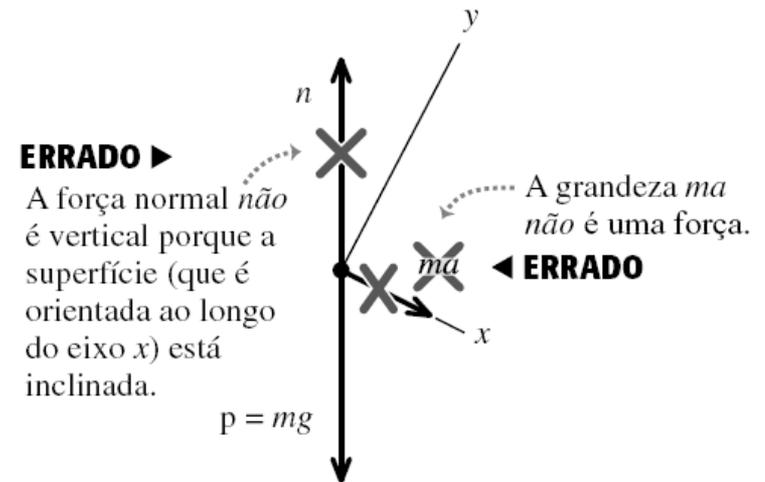
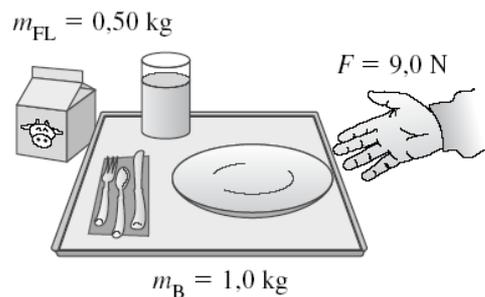
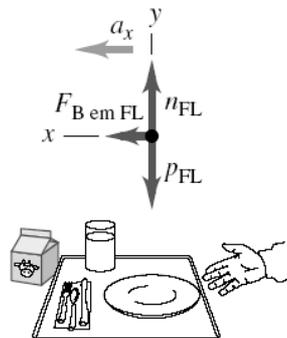


Figura 5.13 Diagramas correto e incorreto para um tobogã em uma montanha sem atrito.

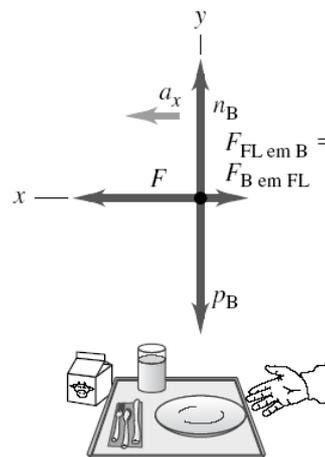
(a) Um frasco de leite e uma bandeja.



(b) Diagramas do corpo livre para o frasco de leite.



(c) Diagrama do corpo livre para a bandeja.



(d) Diagrama do corpo livre para o frasco e a bandeja como um único corpo.

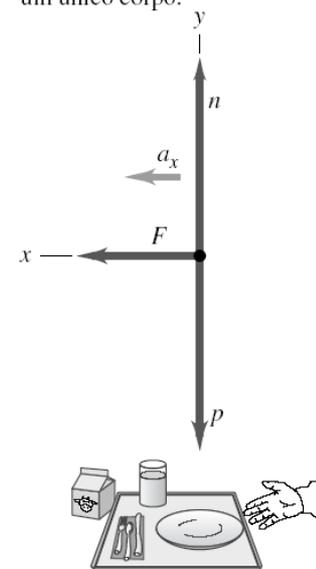
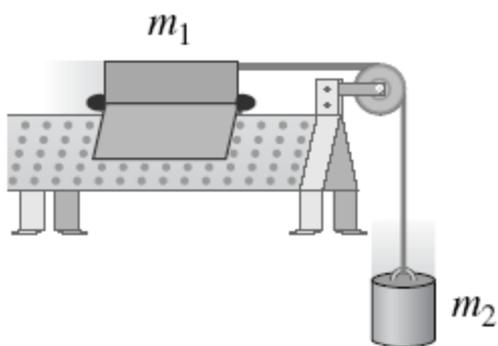
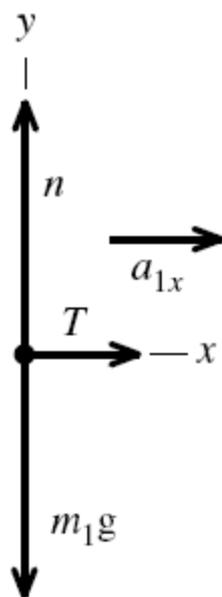


Figura 5.14 Uma bandeja e um frasco de leite empurrados sobre o balcão do refeitório.

(a) Aparato.



(b) Diagrama do corpo livre para o cavaleiro.



(c) Diagrama do corpo livre para o peso.

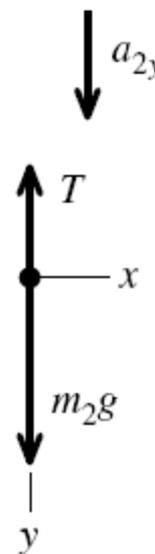


Figura 5.15 (a) A situação. (b), (c) Diagramas do corpo livre.

Atrito e a resistência de um fluido: a força de contato entre dois corpos pode sempre ser representada em termos de uma força normal \vec{n} perpendicular à superfície de interação e de uma força de atrito \vec{f} paralela a essa superfície.

Quando um corpo está deslizando sobre uma superfície, a força de atrito é chamada de força *cinética*. Seu módulo, f_c é aproximadamente proporcional a n , e a constante de proporcionalidade é μ_c , o coeficiente de atrito cinético. Quando *não* há movimento relativo a uma superfície, a força de atrito é chamada de *estática*. A força de atrito *máxima* é aproximadamente proporcional à força normal. A constante de proporcionalidade é μ_s , o coeficiente de atrito estático. A força de atrito estático *real* deve estar compreendida entre zero e seu valor máximo, dependendo da situação. Geralmente μ_c é menor do que μ_s para um dado par de superfícies.

O atrito de rolamento é semelhante ao atrito cinético, mas a força da resistência de um fluido depende da velocidade escalar de um objeto que atravessa o fluido.

Módulo de força de atrito cinético:

$$f_c = \mu_c n \quad (5.5)$$

Módulo de força de atrito estático:

$$f_s \leq \mu_s n \quad (5.6)$$

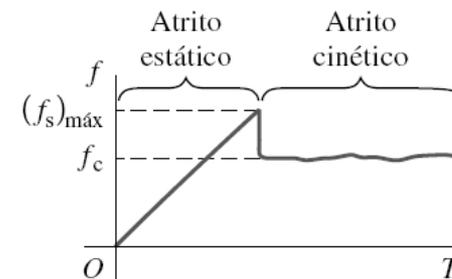




Figura 5.16 A prática do hóquei no gelo depende decisivamente do atrito entre os patins do jogador e o gelo. Quando o atrito é muito elevado, o jogador se locomove muito lentamente; quando o atrito é muito pequeno, o jogador dificilmente evita sua queda.

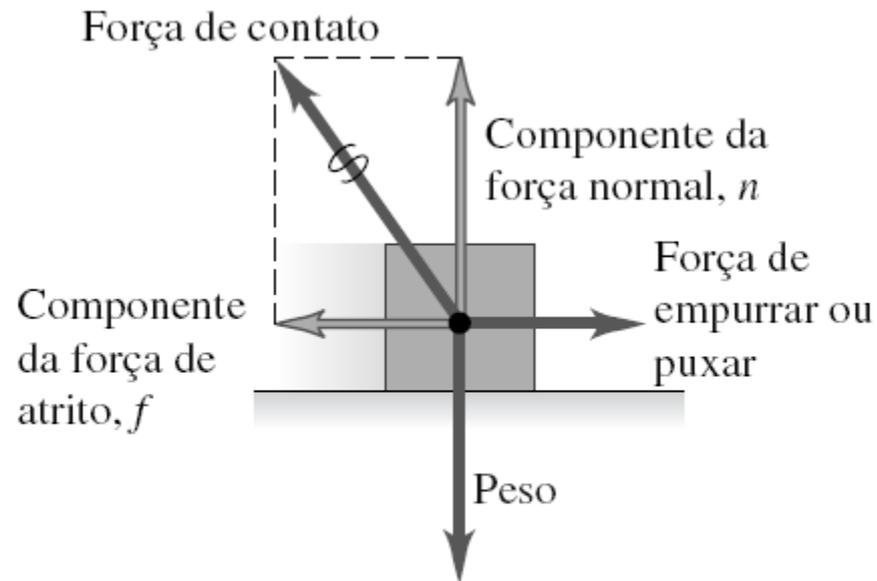
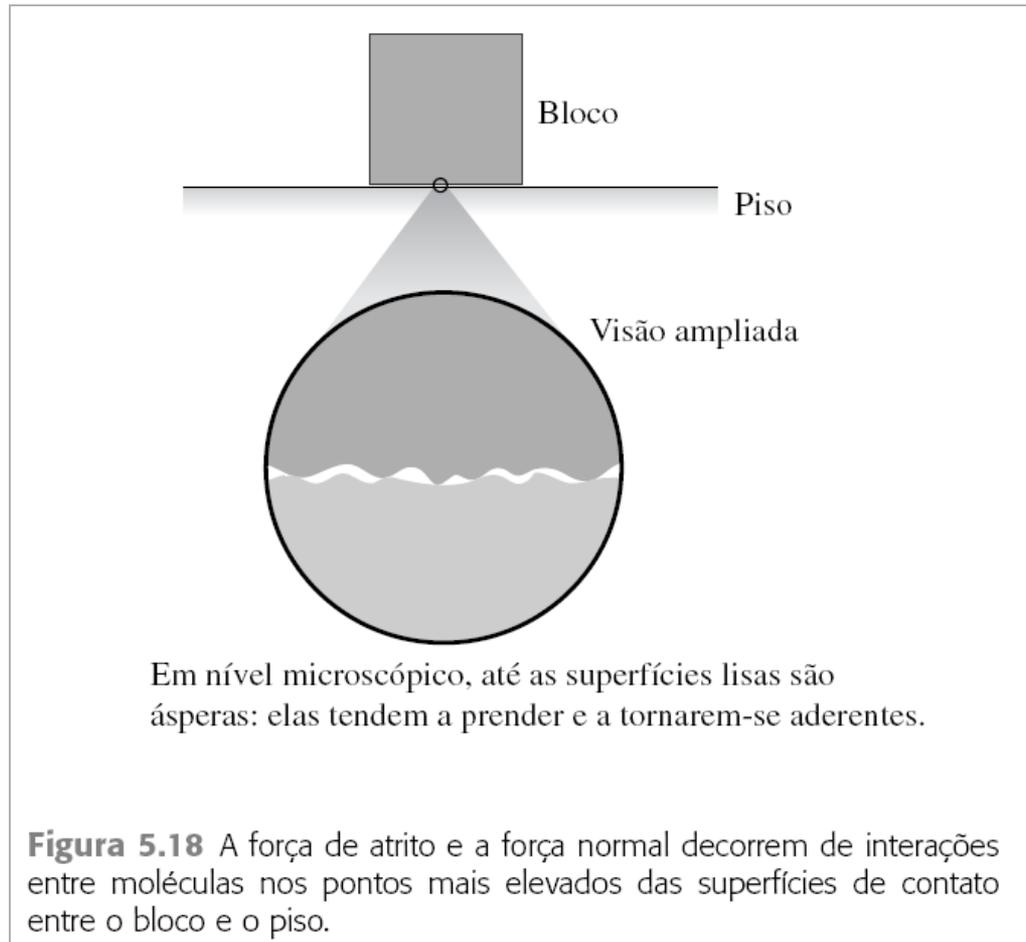
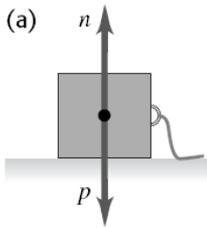
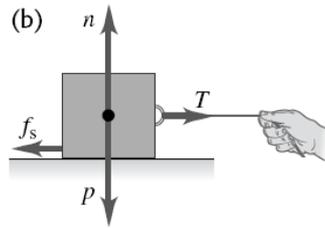


Figura 5.17 Quando um bloco é empurrado ou puxado ao longo de uma superfície, esta exerce uma força de contato sobre o bloco.

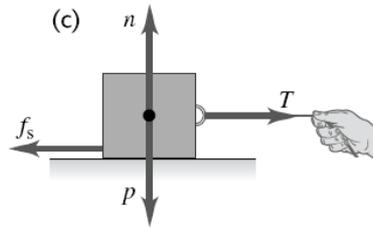




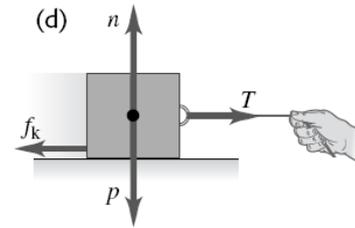
Nenhuma força aplicada,
caixa em repouso.
Nenhum atrito:
 $f_s = 0$



Força aplicada fraca,
caixa permanece em repouso.
Atrito estático:
 $f_s < \mu_s n$



Força aplicada mais forte,
caixa prestes a se mover.
Atrito estático:
 $f_s = \mu_s n$



Caixa desliza
com velocidade
escalar constante.
Atrito cinético:
 $f_c = \mu_c n$

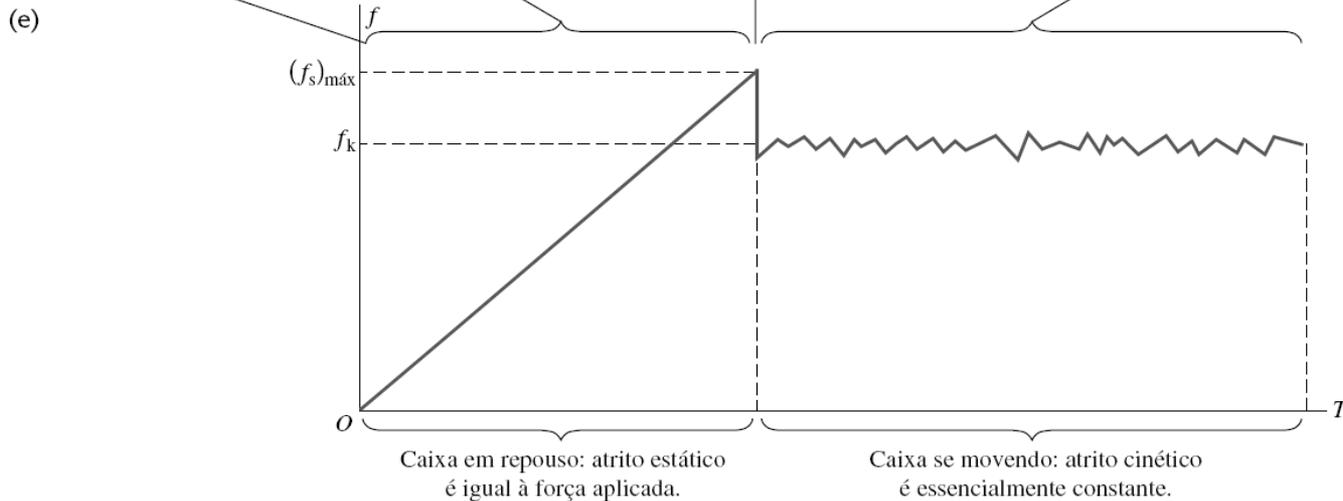
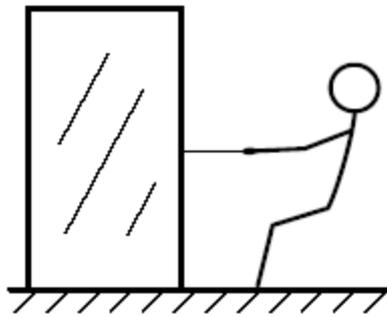
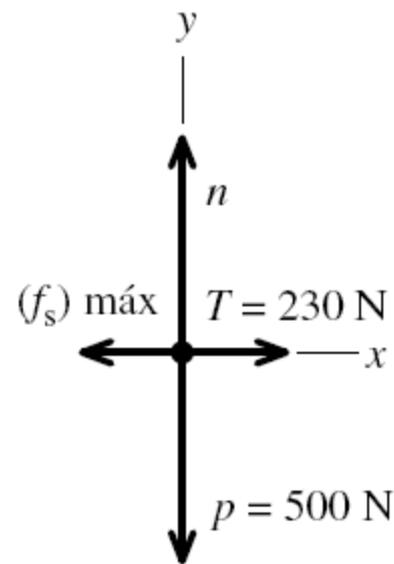


Figura 5.19 (a), (b), (c) Quando não existe movimento relativo entre as superfícies, o módulo da força de atrito estático f é menor do que ou igual a $\mu_s n$. (d) Quando existe movimento relativo, o módulo da força de atrito cinético f_c é igual a $\mu_c n$. (e) Um gráfico do módulo f da força de atrito em função do módulo T da força aplicada T . A força de atrito cinética varia um pouco à medida que as ligações intermoleculares se formam e se rompem.

(a) Um engradado sendo puxado.



(b) Diagrama do corpo livre para o engradado um instante antes de ele começar a se mover.



(c) Diagrama do corpo livre para o engradado se movendo a uma velocidade escalar constante.

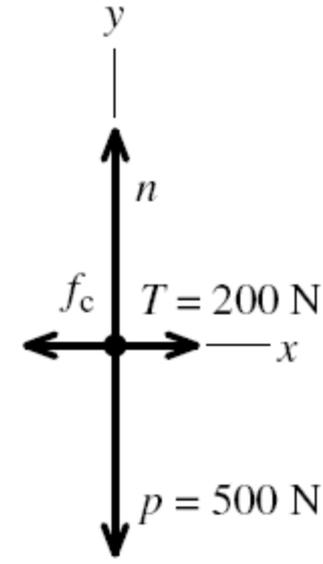
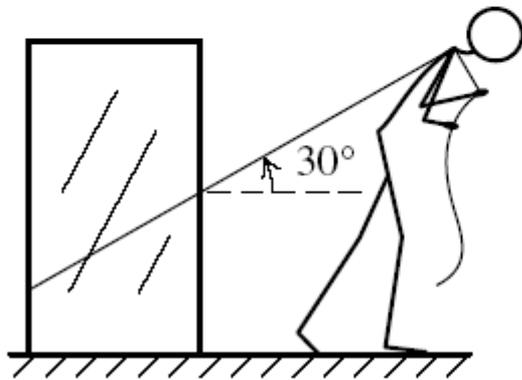


Figura 5.20 Nossos desenhos para esse problema.

(a) Puxando um engradado com uma força que forma um ângulo com a horizontal.



(b) Diagrama do corpo livre para o engradado em movimento.

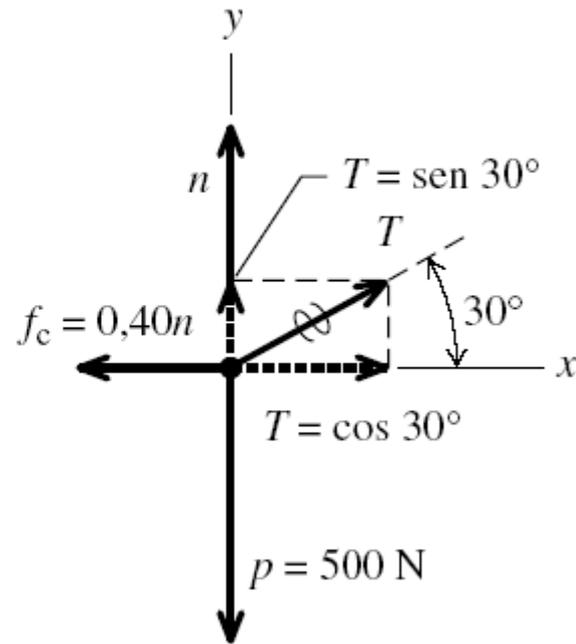
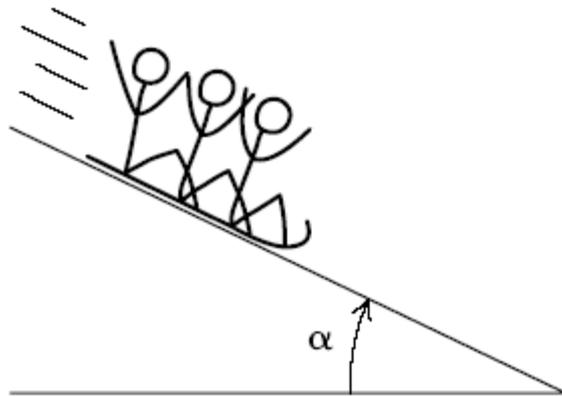


Figura 5.21 Nossos desenhos para esse problema.

(a) A situação.



(b) Diagrama do corpo livre para o tobogã.

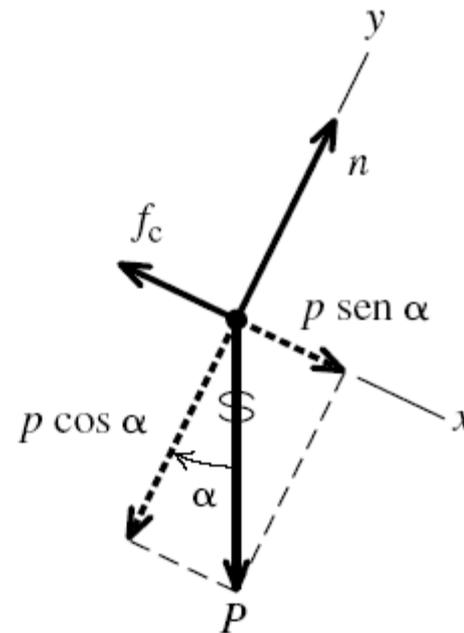
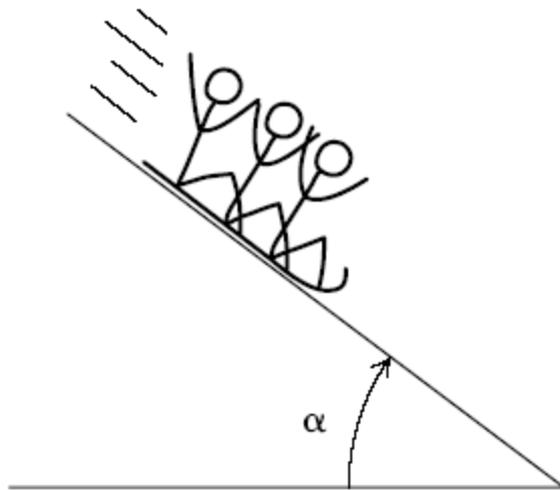


Figura 5.22 Nossos desenhos para esse problema.

(a) A situação.



(b) Diagrama do corpo livre para o tobogã.

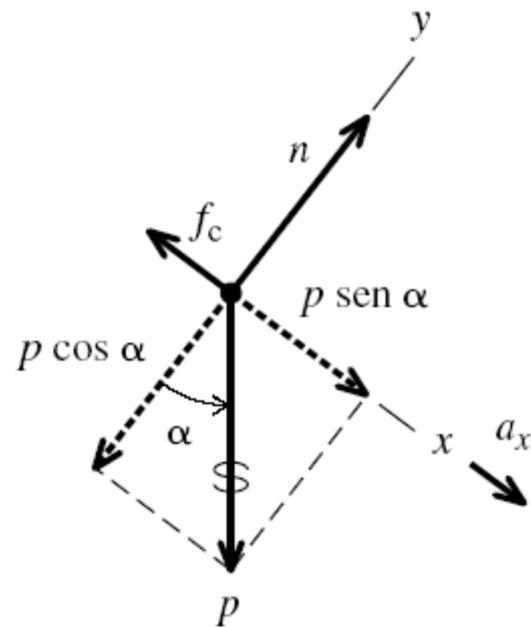


Figura 5.23 Nossos desenhos para esse problema.

(a) Uma pedra caindo na água.



(b) Diagrama do corpo livre para a pedra na água.

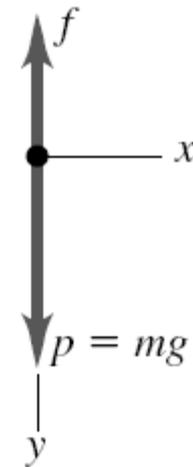
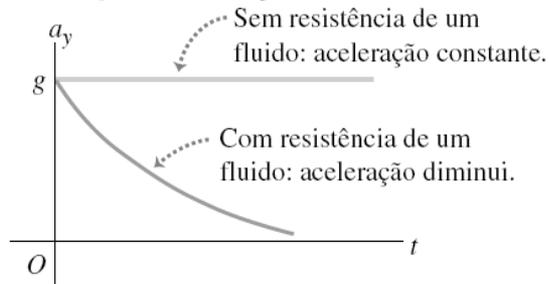
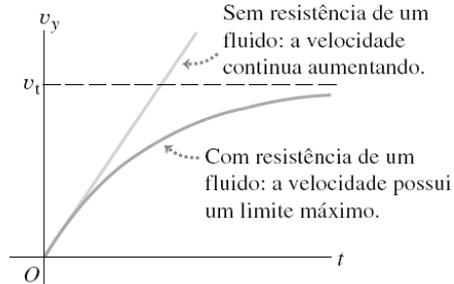


Figura 5.24 Uma pedra que cai em um fluido (água).

Aceleração *versus* tempo.



Velocidade *versus* tempo.



Posição *versus* tempo.

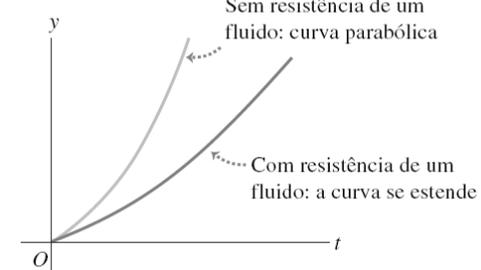
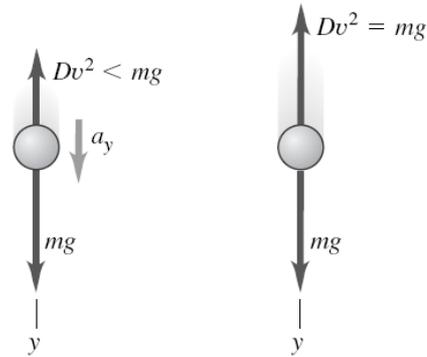


Figura 5.25 Gráficos do movimento de um corpo que cai sem a resistência de um fluido e com a resistência de um fluido proporcionalmente à velocidade escalar.

(a) Diagramas do corpo livre para a queda com arraste do ar.



Antes da velocidade terminal: objeto acelera, força de arraste menor que o peso.

Na velocidade terminal v_t : objeto em equilíbrio, força de arraste se iguala ao peso.

(b) Um pára-quedista caindo em velocidade terminal.



Figura 5.26 (a) Arraste do ar e velocidade terminal. (b) Ao mudar as posições dos braços e das pernas durante a queda, um pára-quedista pode alterar o valor da constante D na Equação (5.8) e, portanto, ajustar o valor da sua velocidade terminal [(Equação (5.13))].

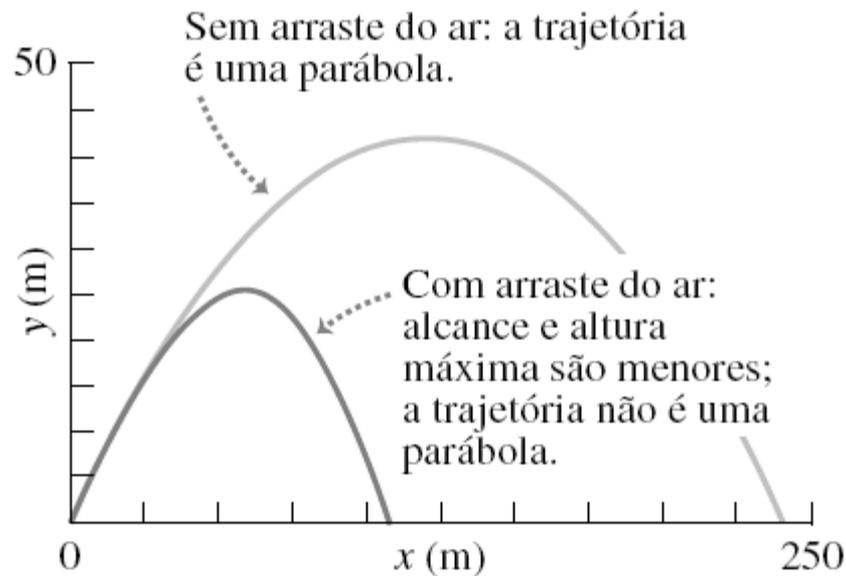
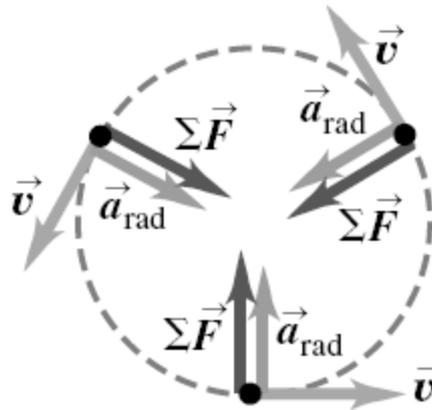


Figura 5.27 Trajetórias simuladas por computador de uma bola de beisebol lançada a 50 m/s, formando um ângulo de 35° sobre a horizontal. Note que as escalas são diferentes nos eixos horizontal e vertical.

Forças em movimento circular: em um movimento circular uniforme, o vetor aceleração é dirigido para o centro do círculo e possui módulo v^2/R . O movimento é governado pela segunda lei de Newton, $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$.

$$a_{\text{rad}} = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \quad (5.14), (5.16)$$



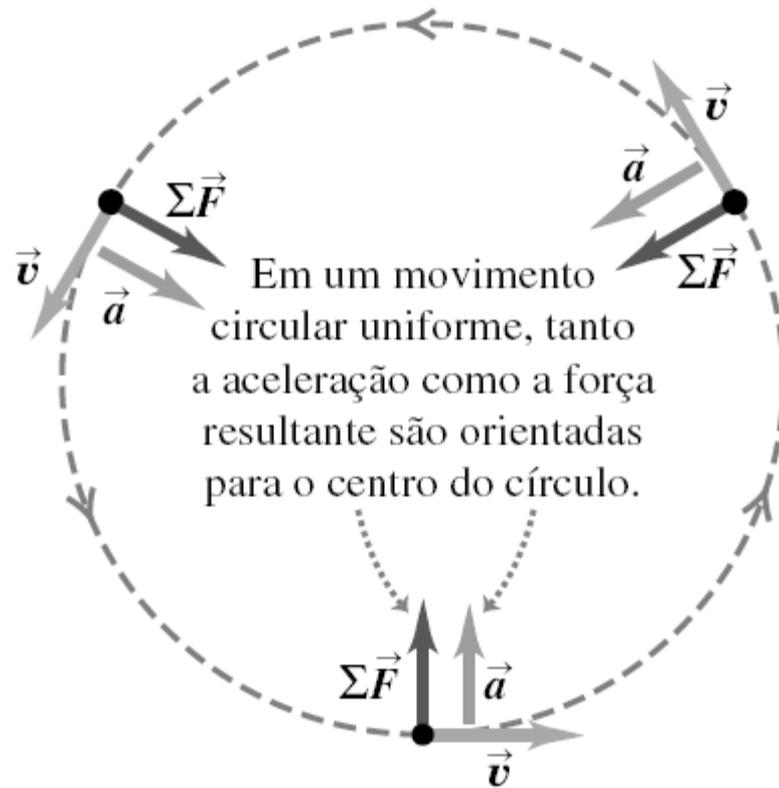
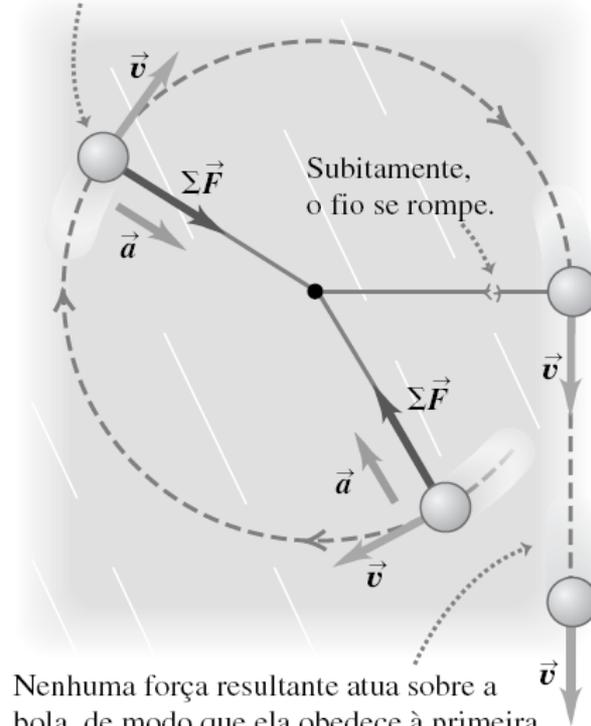


Figura 5.28 Em um movimento circular uniforme, tanto a aceleração, como a força resultante são orientadas para o centro do círculo.

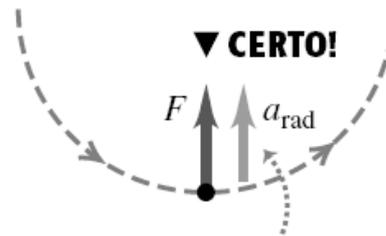
Uma bola amarrada a um fio gira em círculo sobre uma superfície sem atrito.



Nenhuma força resultante atua sobre a bola, de modo que ela obedece à primeira lei de Newton — ela se move em linha reta a uma velocidade constante.

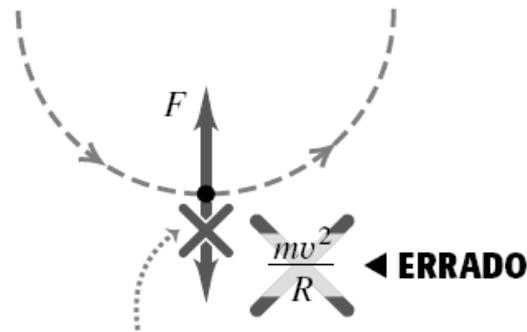
Figura 5.29 O que acontece quando a força orientada para o centro deixa de atuar sobre um corpo em um movimento circular?

(a) Diagrama do corpo livre correto.



Se você incluir a aceleração, desenhe-a ao lado do corpo, para mostrar que ela não é uma força.

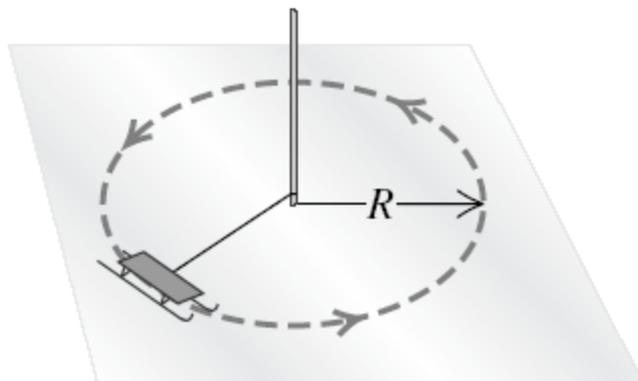
(b) Diagrama do corpo livre incorreto.



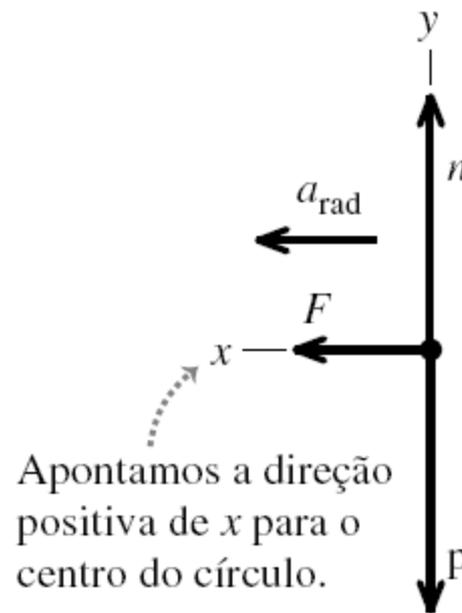
A grandeza mv^2/R não é uma força — ela não pertence a um diagrama do corpo livre.

Figura 5.30 Diagramas do corpo livre (a) correto e (b) incorreto para um corpo em movimento circular uniforme.

(a) Um trenó em movimento circular uniforme.



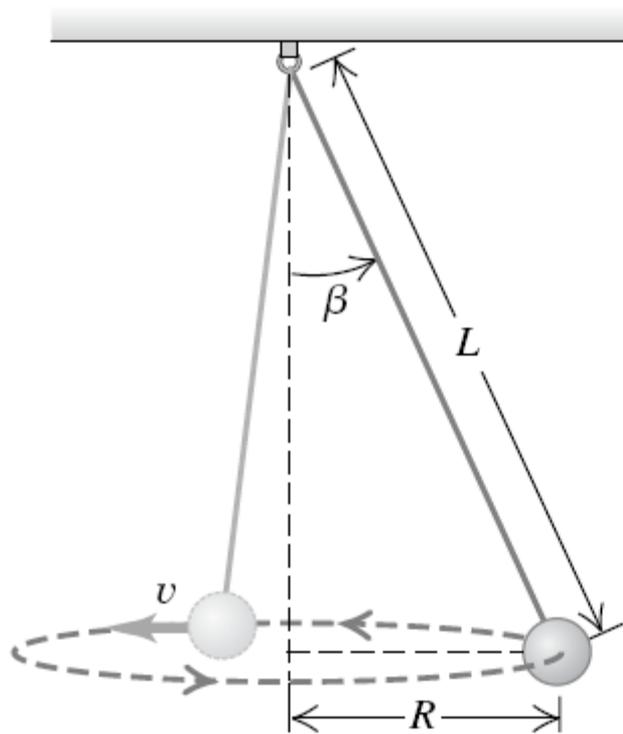
(b) O diagrama do corpo livre para o trenó.



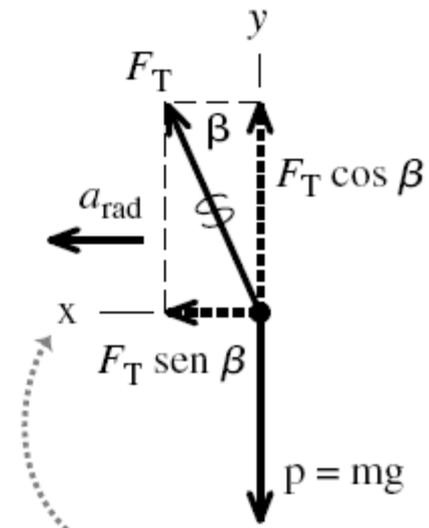
Apontamos a direção positiva de x para o centro do círculo.

Figura 5.31 (a) A situação. (b) O diagrama do corpo livre.

(a) A situação.



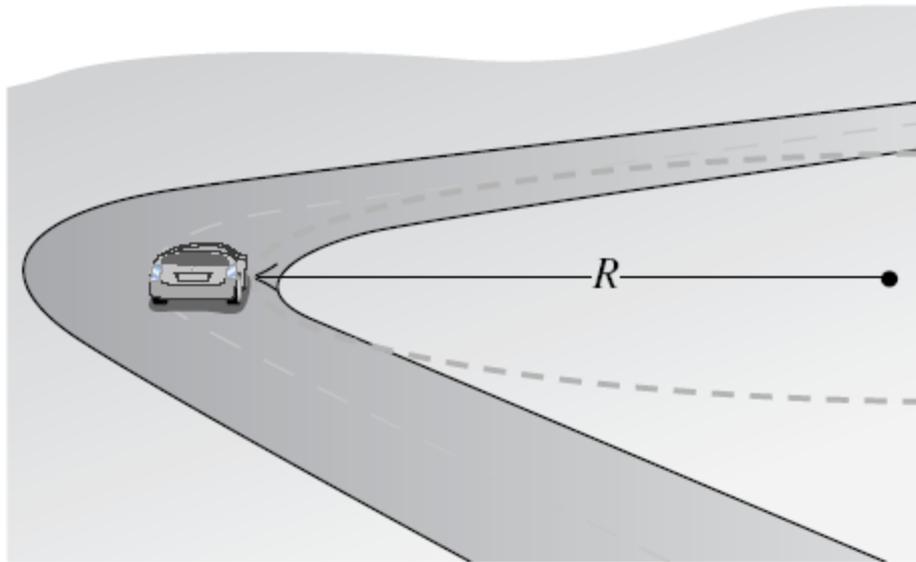
(b) Diagrama do corpo livre para a bola.



Orientamos o sentido positivo do eixo Ox para o centro do círculo.

Figura 5.32 (a) A situação. (b) Nosso diagrama do corpo livre.

(a) Um carro contorna uma curva em uma estrada plana.



(b) Diagrama do corpo livre para o carro.

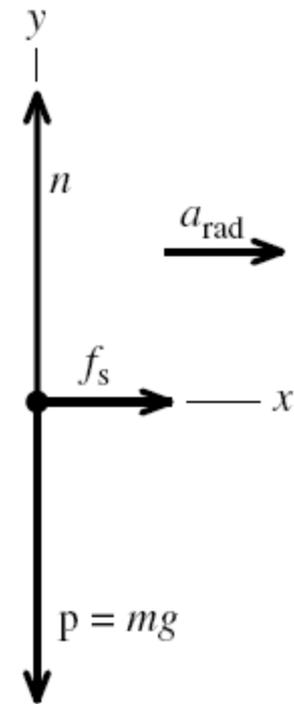
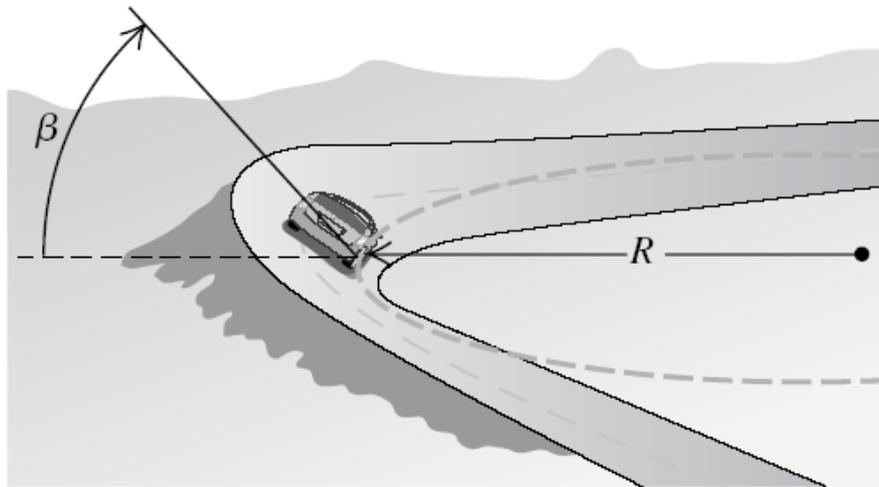


Figura 5.33 (a) A situação. (b) Diagrama do corpo livre.

(a) Um carro contorna uma curva em uma estrada inclinada.



(b) Diagrama do corpo livre para o carro.

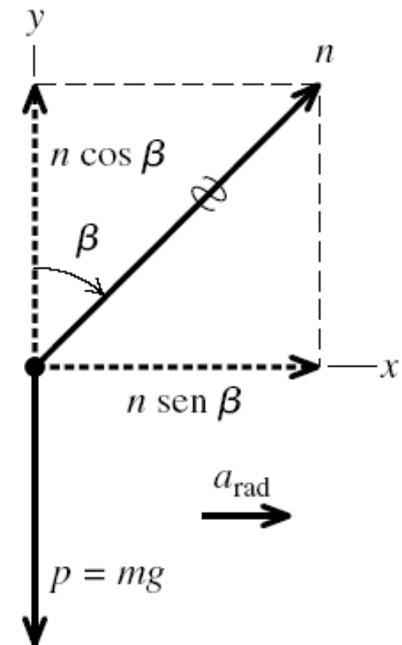


Figura 5.34 (a) A situação. (b) Diagrama do corpo livre.

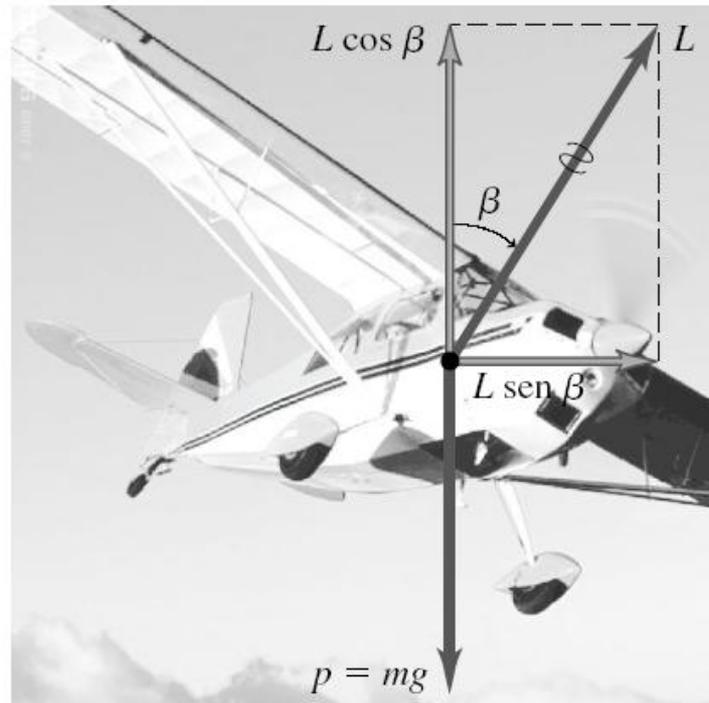
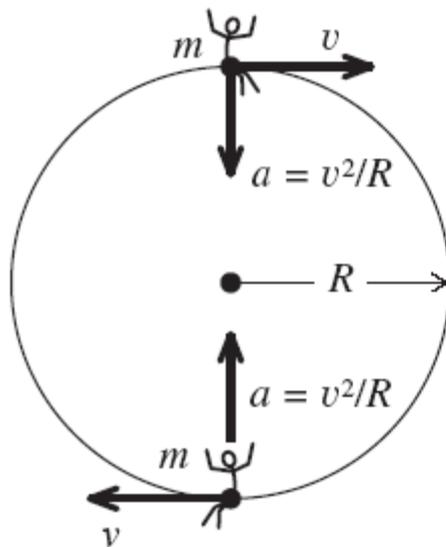
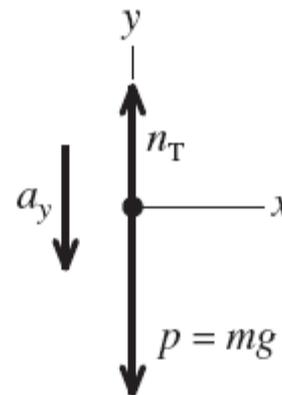


Figura 5.35 Um avião se inclina para um lado para mudar de direção. O componente vertical da força de levantamento \vec{L} equilibra a força da gravidade; o componente horizontal de \vec{L} provoca a aceleração v^2/R .

(a) Desenho das duas posições.



(b) Diagrama do corpo livre para o passageiro no topo do círculo.



(c) Diagrama do corpo livre para o passageiro na base do círculo

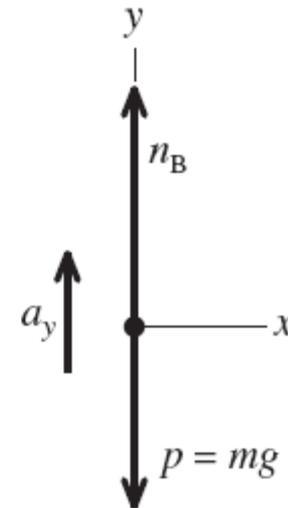


Figura 5.36 Nossos desenhos para esse problema.

