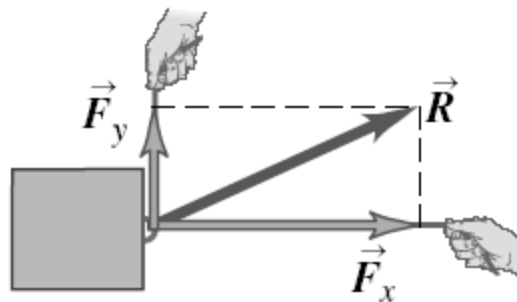


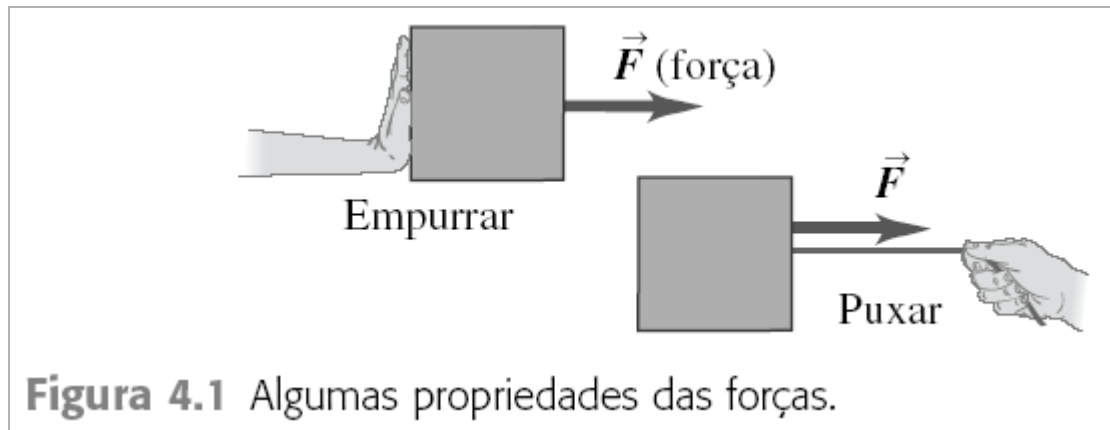
Capítulo 4

Leis de Newton do movimento

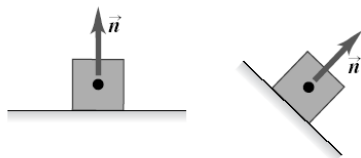
Força como grandeza vetorial: a força é a medida da interação entre dois corpos. É uma grandeza vetorial. Quando diversas forças atuam sobre um corpo, o efeito sobre seu movimento é o mesmo que o produzido pela ação de uma única força agindo sobre o corpo, dada pela soma vetorial (resultante) dessas forças.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \sum \vec{F} \quad (4.1)$$

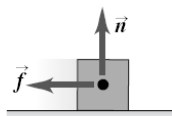




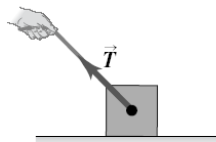
(a) **Força normal \vec{n}** : quando um objeto repousa sobre uma superfície ou a empurra, a superfície exerce sobre ele uma força, que é orientada perpendicularmente à superfície.



(b) **Força de atrito \vec{f}** : além da força normal, uma superfície pode exercer uma força de atrito sobre um objeto, que é orientada paralelamente à superfície.



(c) **Força de tensão \vec{T}** : uma força de puxar exercida sobre um objeto por uma corda, cordão etc.

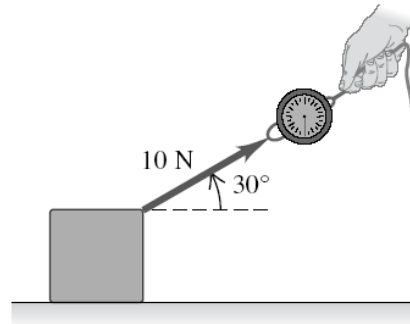


(d) **Peso \vec{p}** : a força de puxar da gravidade sobre um objeto é uma força de longo alcance (uma força que age a certa distância).



Figura 4.2 Quatro tipos de força.

(a) Uma força de puxar de 10 N, formando um ângulo de 30° sobre a horizontal.



(b) Uma força de empurrar de 10 N, formando um ângulo de 45° sob a horizontal.

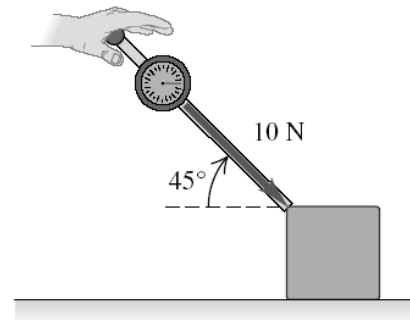
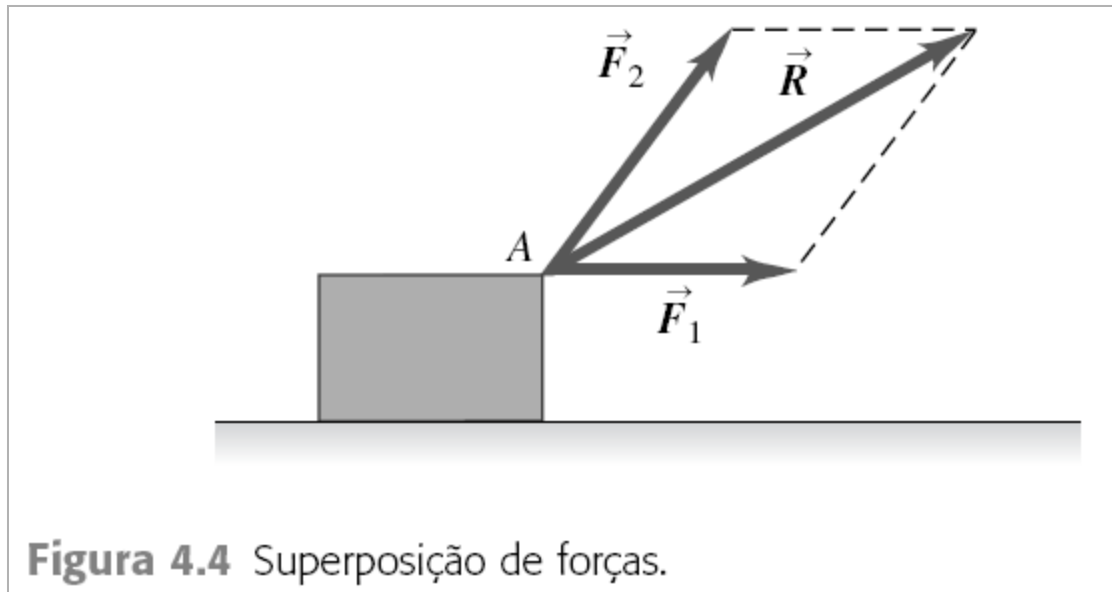
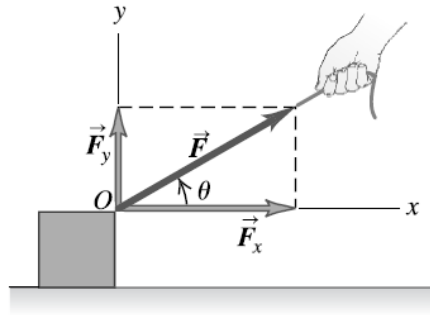


Figura 4.3 Usando uma flecha vetorial para designar a força que exercemos quando (a) puxamos um bloco com um barbante ou (b) empurramos um bloco com uma vara.



(a) Vetores componentes: \vec{F}_x e \vec{F}_y .
Componentes: $F_x = F\cos\theta$ e $F_y = F\sin\theta$.



(b) Vetores componentes \vec{F}_x e \vec{F}_y
juntos exercem o mesmo efeito que
a força original \vec{F} .

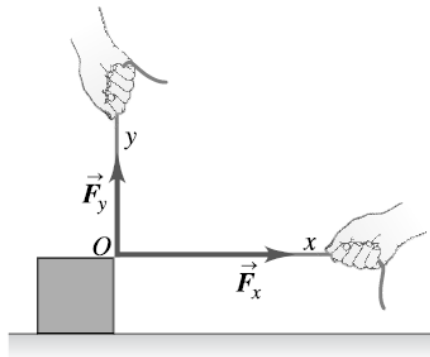


Figura 4.5 A força \vec{F} , que atua formando um ângulo θ com o eixo Ox , pode ser substituída pelos seus vetores componentes retangulares \vec{F}_x e \vec{F}_y .

Cortamos um vetor, quando o substituímos pelos seus componentes.

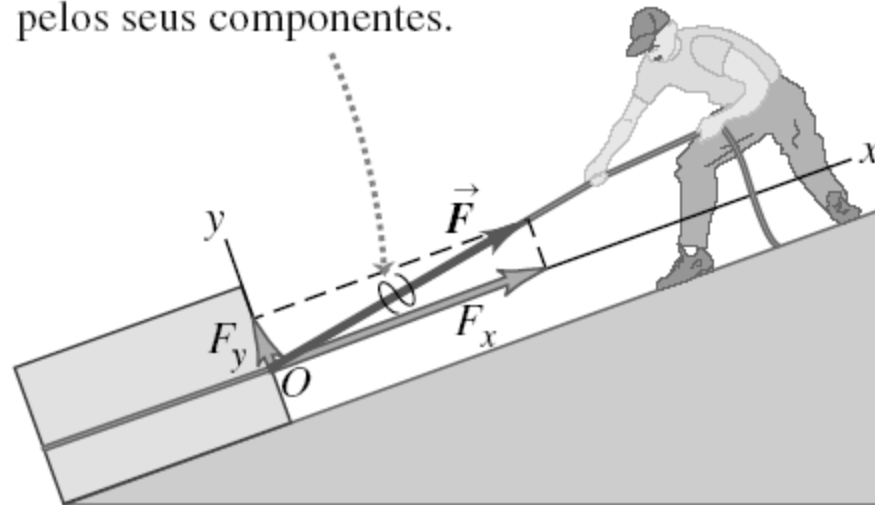


Figura 4.6 F_x e F_y são os componentes de \vec{F} paralelo e perpendicular à superfície da ladeira no plano inclinado.

\vec{R} é a soma (resultante) de \vec{F}_1 e \vec{F}_2 .

O componente y de \vec{R} é igual à soma dos componentes y de \vec{F}_1 e \vec{F}_2 . O mesmo se aplica para os componentes x.

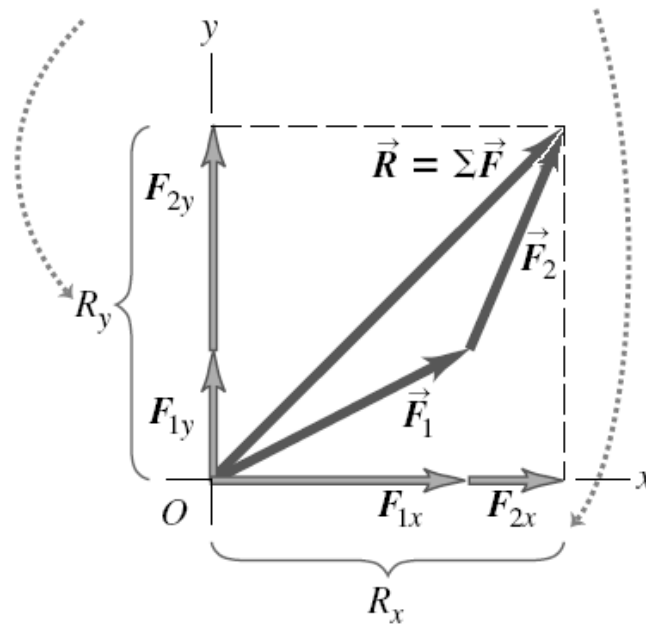
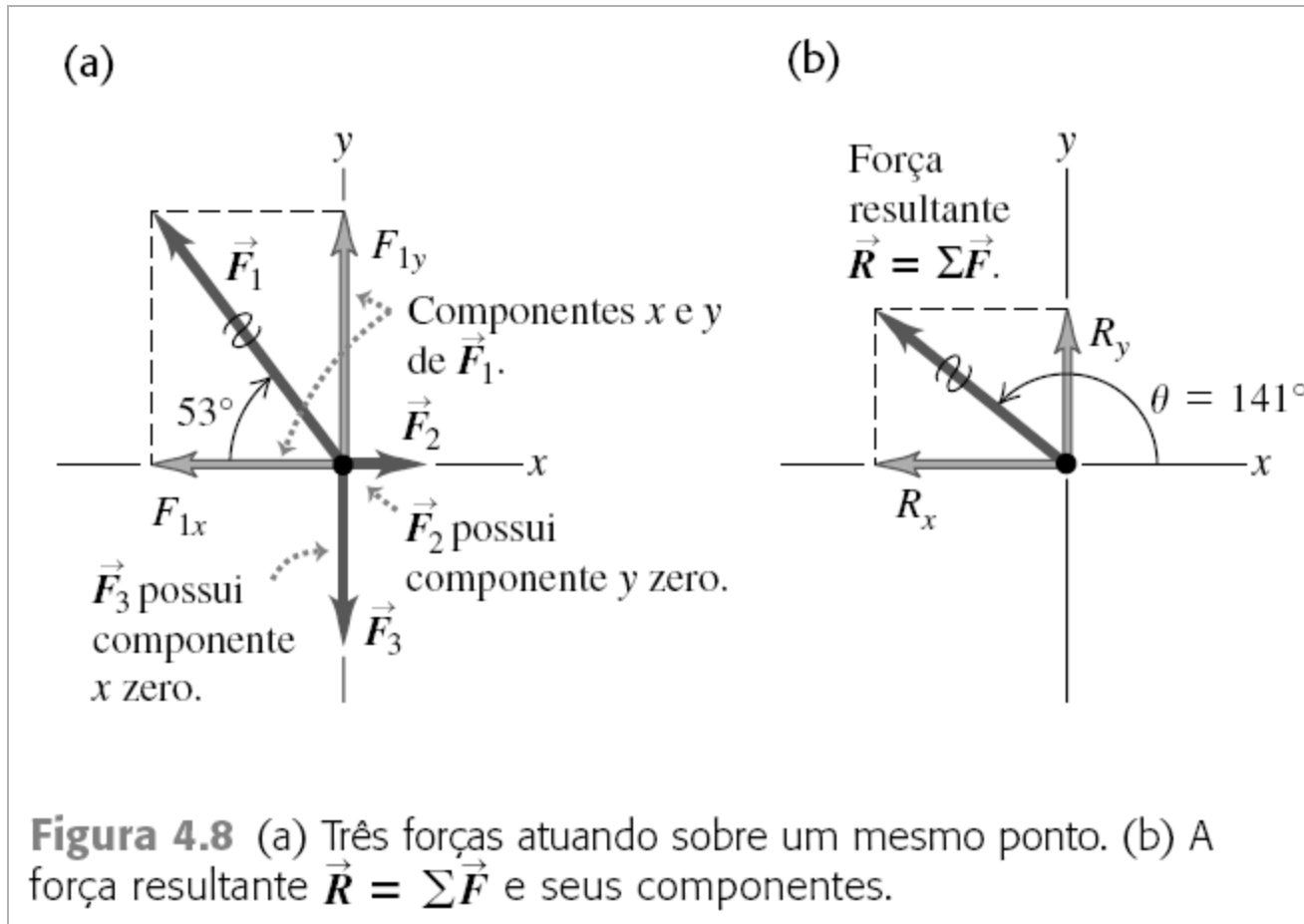
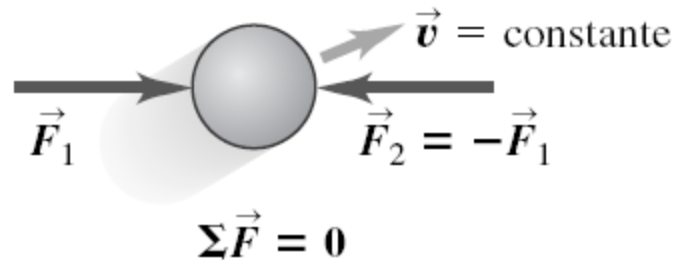


Figura 4.7 Achando os componentes do vetor soma (resultante) \vec{R} de duas forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 .



A força resultante sobre um corpo e a primeira lei de Newton: a primeira lei de Newton afirma que, quando a soma vetorial das forças que atuam sobre o corpo (a *força resultante*) é igual a zero, o corpo está em equilíbrio e possui aceleração nula. Quando o corpo está inicialmente em repouso, ele permanece em repouso; quando o corpo está inicialmente em movimento, ele continua em movimento com velocidade constante. Essa lei vale apenas em sistemas de referência inerciais.

$$\sum \vec{F} = \mathbf{0} \quad (4.3)$$



(a) Mesa: o disco desliza pouco. (b) Gelo: o disco desliza um pouco mais. (c) Colchão de ar: o disco desliza ainda mais.

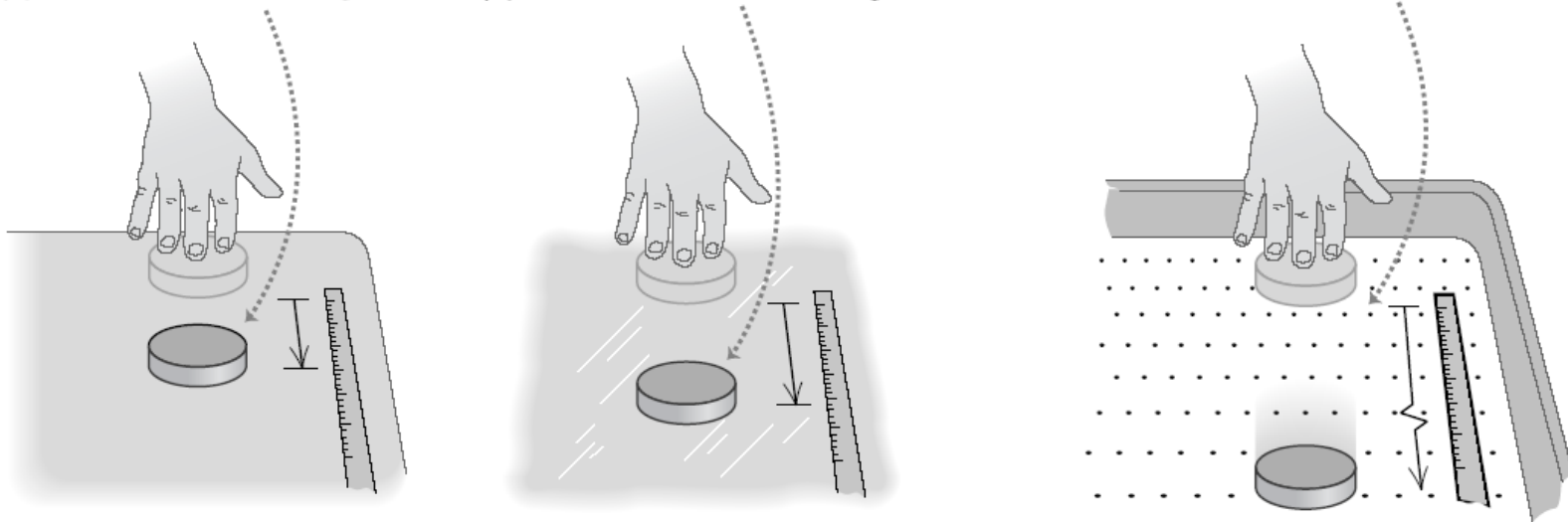
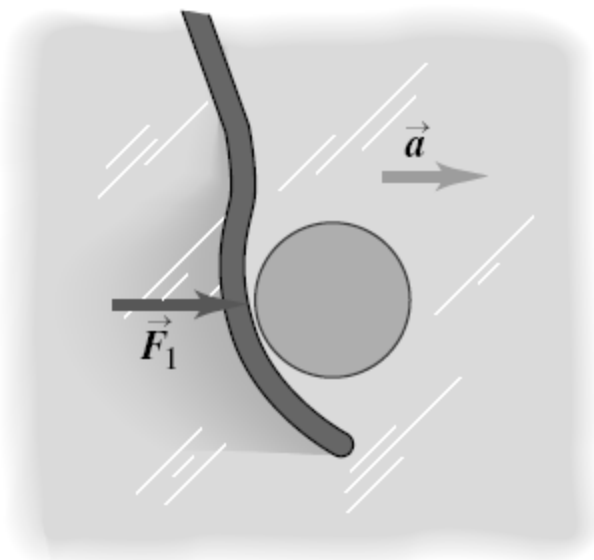


Figura 4.9 Quanto mais lisa a superfície, mais longe um disco desliza após tomar uma velocidade inicial. Se ele se move em um colchão de ar sobre a mesa (c), a força de atrito é praticamente zero, de modo que o disco continua a deslizar com velocidade quase constante.

(a) Um disco sobre uma superfície sem atrito acelera quando sofre ação de uma única força horizontal.



(b) Um objeto que sofre ação de forças cujo vetor soma é igual a zero se comporta como se nenhuma força atue sobre ele.

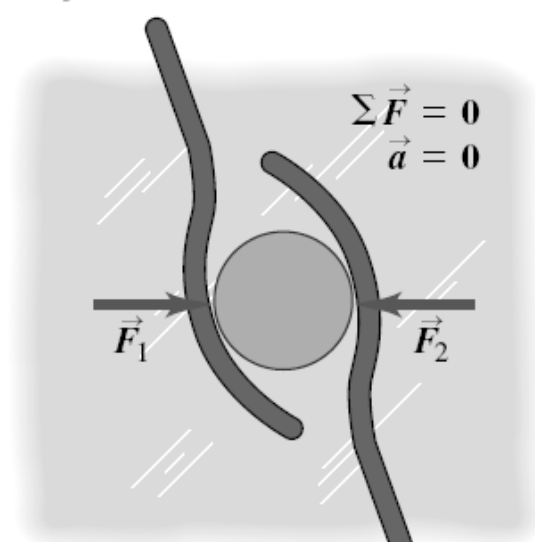
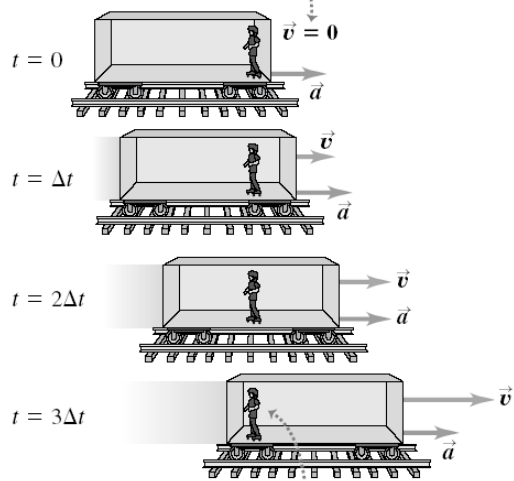


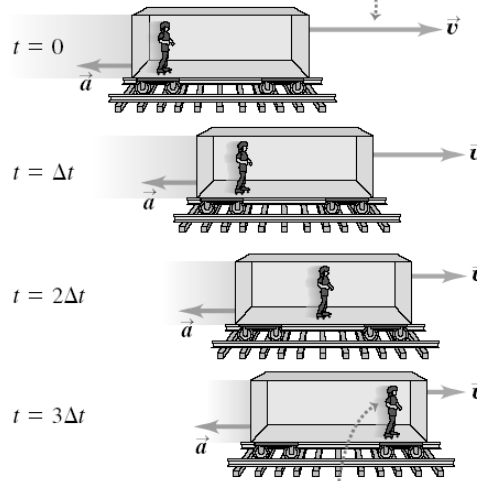
Figura 4.10 (a) Um disco de hóquei acelera no sentido de uma força resultante aplicada \vec{F}_1 . (b) Quando a força resultante é igual a zero, a aceleração é nula e o disco está em equilíbrio.

(a) Inicialmente, você e o veículo estão em repouso.



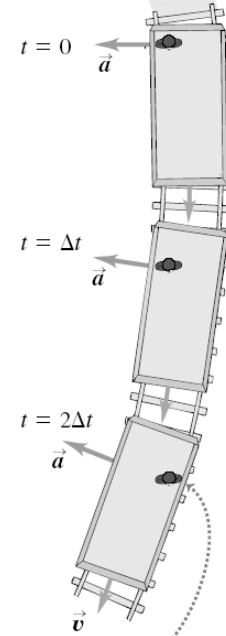
Você tende a permanecer em repouso conforme o veículo acelera ao seu redor.

(b) Inicialmente, você e o veículo estão em movimento.



Você tende a continuar se movendo com velocidade constante conforme o veículo reduz a velocidade ao seu redor.

(c) O veículo faz uma curva a uma velocidade constante.



Você tende a continuar se movendo em linha reta enquanto o veículo faz a curva.

Figura 4.11 Viajando em um veículo acelerando.



Figura 4.12 A partir do sistema de referência do carro, parece que uma força empurra os bonecos de teste de colisão para a frente, quando o carro freia repentinamente. Conforme o carro pára, os bonecos continuam a se mover para a frente como consequência da primeira lei de Newton.

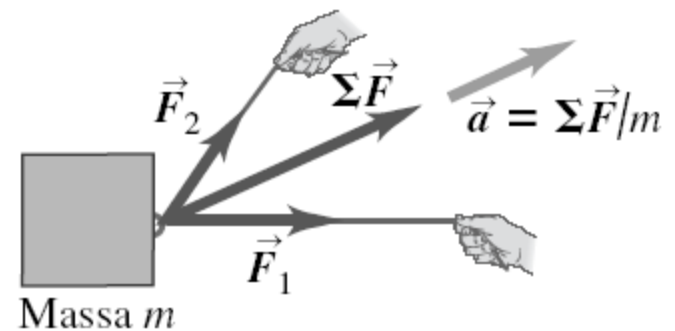
Massa, aceleração e a segunda lei de Newton: a propriedade inercial de um corpo é caracterizada pela sua *massa*. A aceleração de um corpo submetido à ação de um conjunto de forças é diretamente proporcional à soma vetorial das forças que atuam sobre o corpo (a *força resultante*) e inversamente proporcional à massa do corpo. Esta formulação é a segunda lei de Newton. Como na primeira lei, a segunda lei de Newton vale apenas em sistemas de referência inerciais. A unidade de força é definida em termos das unidades de massa e de aceleração. Em unidades SI, a unidade de força denomina-se newton (N), sendo igual a $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

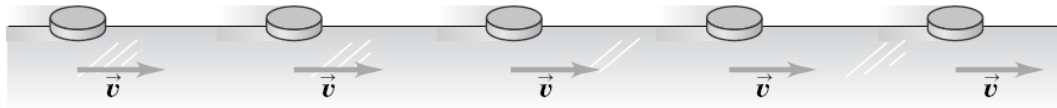
$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

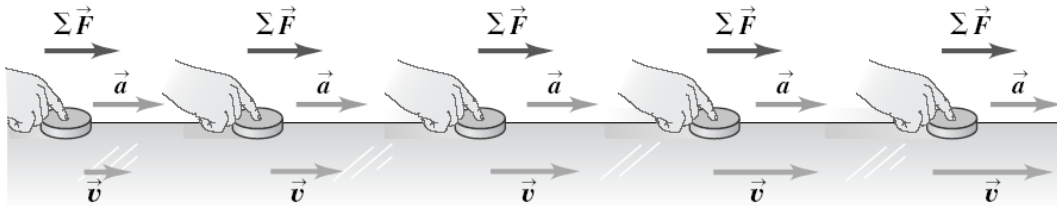
$$\sum F_z = ma_z$$



(a) Um disco de hóquei com velocidade constante (em equilíbrio): $\Sigma \vec{F} = \mathbf{0}$, $\vec{a} = \mathbf{0}$



(b) Uma força resultante constante no sentido do movimento provoca uma aceleração constante no mesmo sentido da força resultante.



(c) Uma força resultante constante no sentido oposto do movimento provoca uma aceleração constante no mesmo sentido da força resultante.

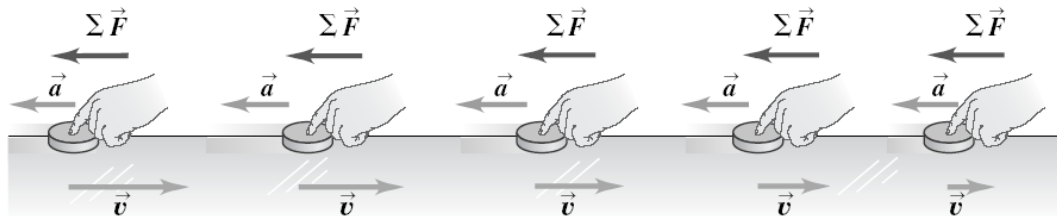
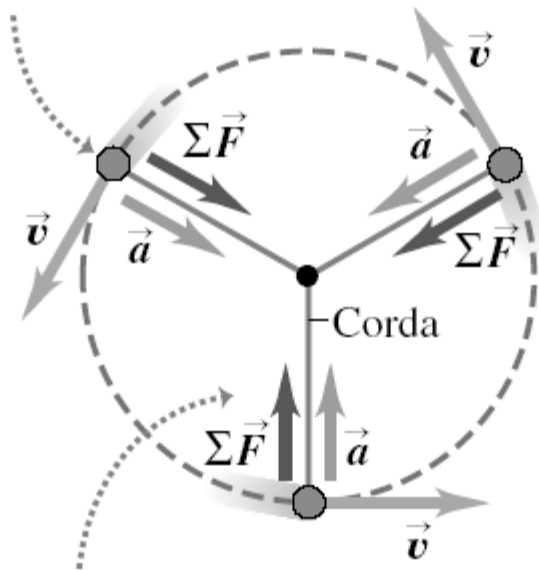


Figura 4.13 Vamos explorar a relação entre a aceleração de um corpo e a força resultante que atua sobre ele (neste caso, um disco de hóquei sobre uma superfície sem atrito).

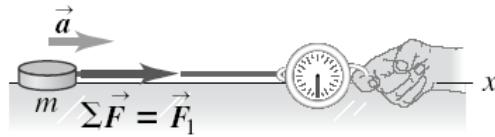
O disco se move com velocidade escalar constante em torno do círculo.



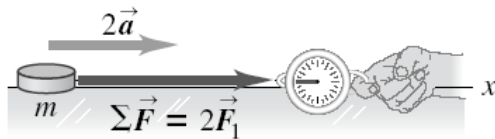
Em todos os pontos a aceleração \vec{a} e a força resultante $\Sigma \vec{F}$ apontam no mesmo sentido – sempre orientadas para o centro do círculo.

Figura 4.14 Visão aérea de um disco de hóquei em movimento circular uniforme sobre uma superfície horizontal sem atrito.

(a) Uma força resultante constante $\Sigma \vec{F}$ provoca uma aceleração constante \vec{a} .



(b) Dobrando-se a força resultante, dobra a aceleração.



(c) A metade da força reduz pela metade a aceleração.

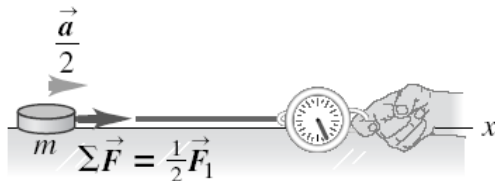
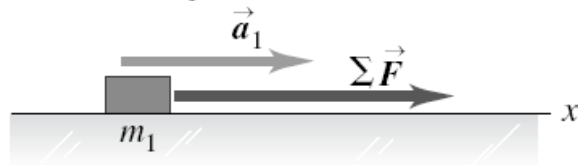


Figura 4.15 Para um corpo de uma dada massa m , o módulo da aceleração do corpo é diretamente proporcional ao módulo da força resultante que atua sobre o corpo.

(a) Uma força $\Sigma \vec{F}$ conhecida faz com que um objeto com massa m_1 tenha uma aceleração \vec{a}_1 .



(b) Aplicando a mesma força $\Sigma \vec{F}$ a um segundo objeto e observando a aceleração, podemos medir a massa.



(c) Quando as duas massas se juntam, o mesmo método mostra que a massa composta é a soma das massas individuais.

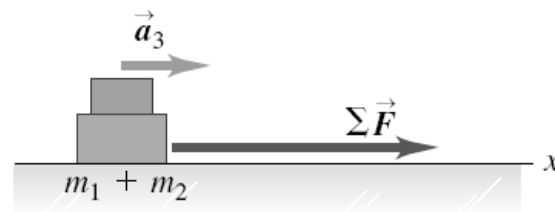


Figura 4.16 Para uma força resultante $\Sigma \vec{F}$ atuando sobre um corpo, a aceleração é inversamente proporcional à massa do corpo. As massas se somam como escalares comuns.



Figura 4.17 O projeto de uma motocicleta de alto desempenho depende fundamentalmente da segunda lei de Newton. Para maximizar a aceleração, o projetista deve fazer a motocicleta ser o mais leve possível (isto é, minimizar sua massa) e usar o motor mais potente possível (isto é, maximizar a força motriz).

A caixa não possui aceleração vertical, portanto a soma dos componentes verticais da força resultante é igual a zero. No entanto, para maior clareza, mostramos as forças verticais atuando sobre a caixa.

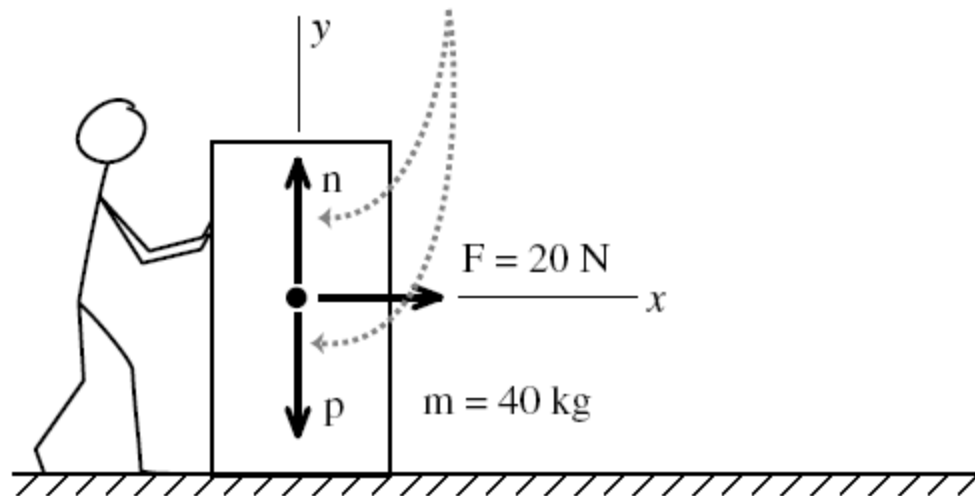


Figura 4.18 Nosso desenho desse problema. O piso sob a caixa acabou de ser encerado, por isso assumimos que o atrito é desprezível.

Desenhamos um diagrama para o movimento do pote e outro para as forças que atuam sobre ele.

$$m = 0,45 \text{ kg}$$

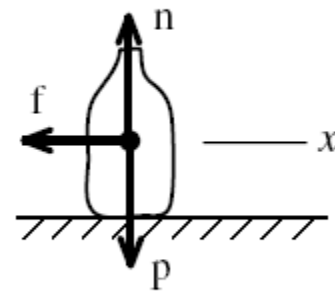
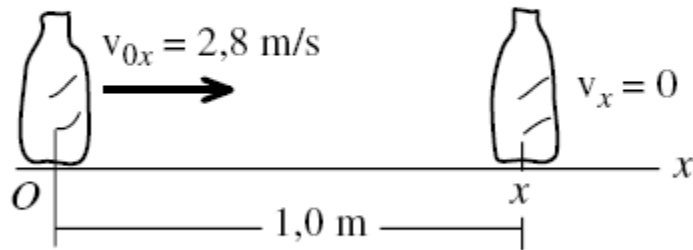


Figura 4.19 Nosso desenho desse problema.

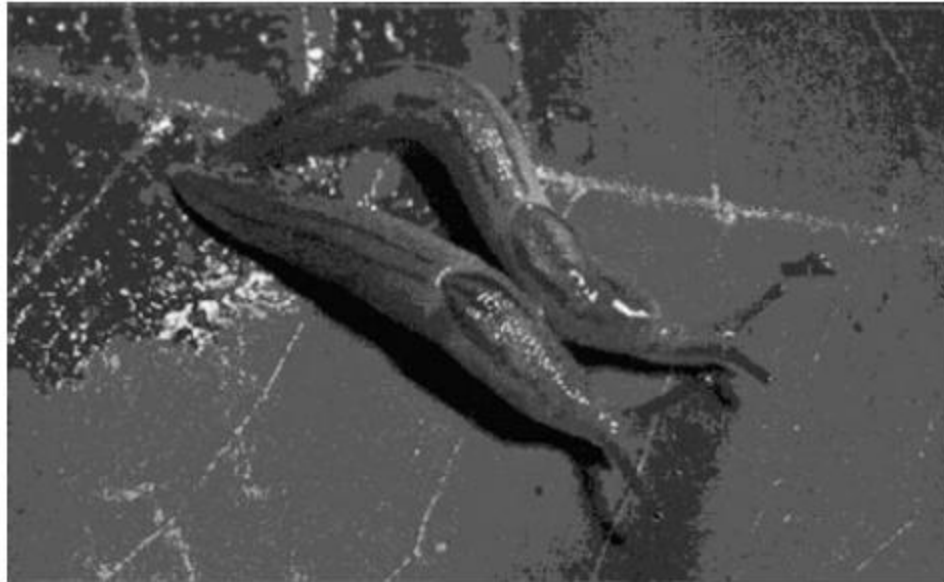
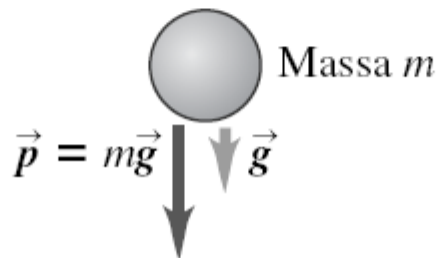


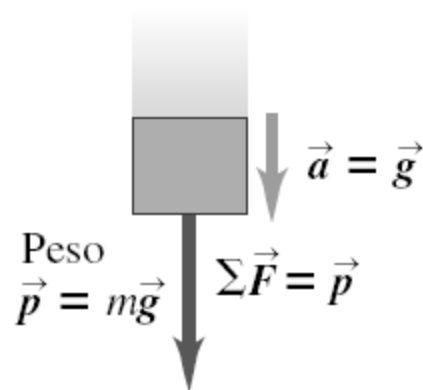
Figura 4.20 Uma lesma típica de jardim possui massa aproximadamente igual a 10^{-3} slug ou cerca de 15 gramas.

Peso: o peso \vec{p} de um corpo é a força de atração gravitacional exercida pela Terra sobre o corpo. O peso é uma grandeza vetorial. O módulo do peso de um corpo em um local específico é igual ao produto de sua massa m pelo módulo da aceleração da gravidade g nesse local. O peso de um corpo depende do local onde ele se encontra, porém a massa é sempre a mesma independentemente do local.

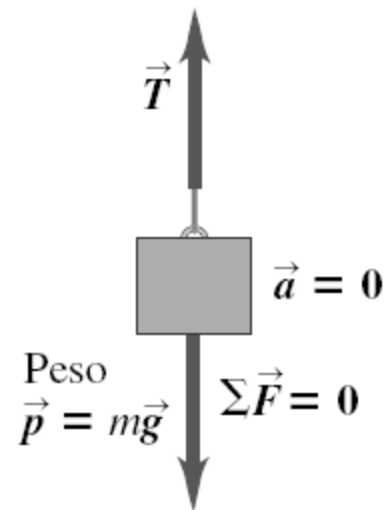
$$p = mg \quad (4.9)$$



Corpo em queda livre,
massa m

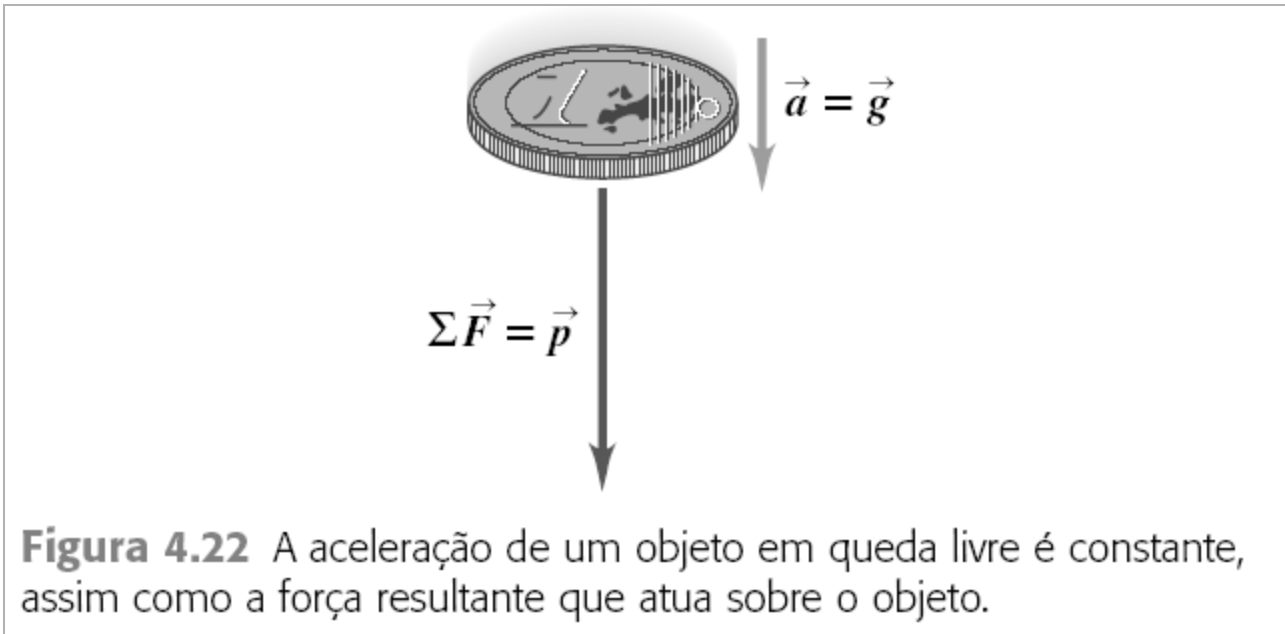


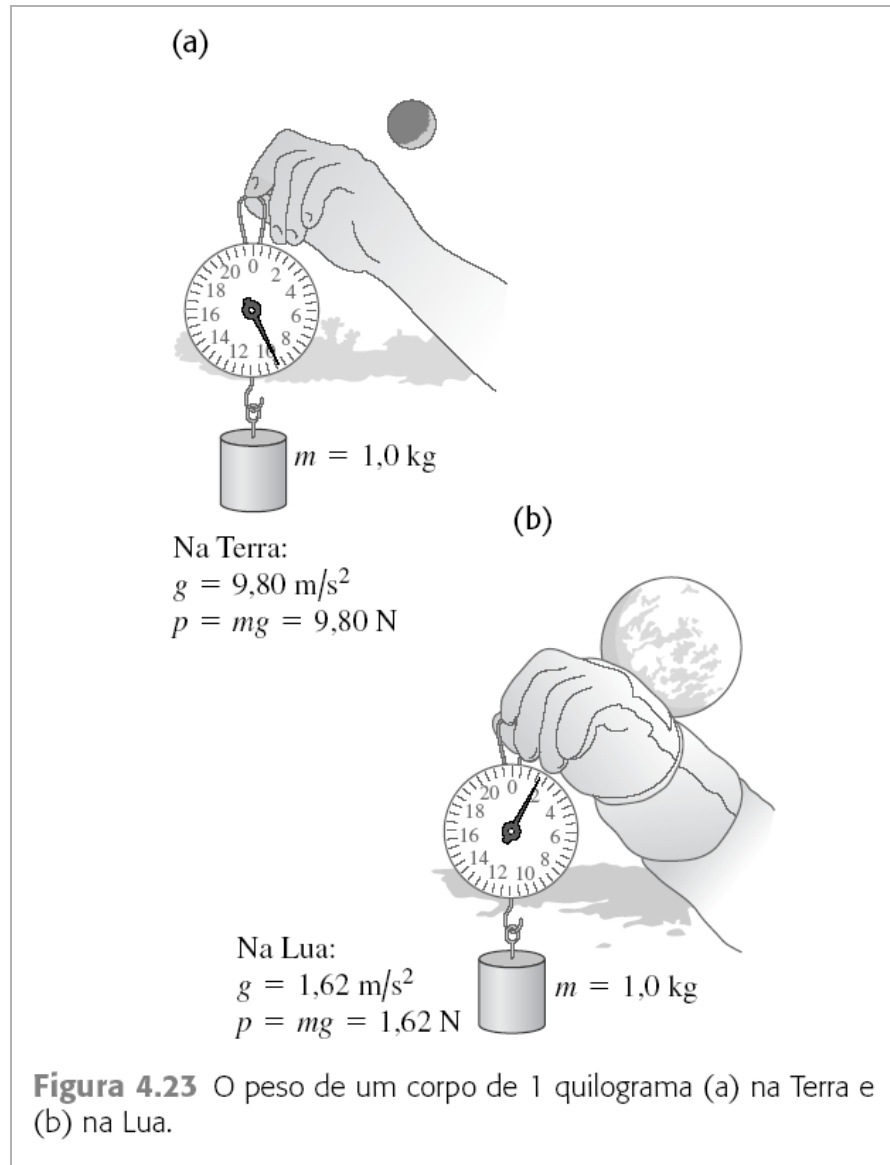
Corpo suspenso,
massa m



- A relação entre massa e peso: $\vec{p} = m\vec{g}$.
- A relação é a mesma, esteja um corpo em queda livre ou estacionário.

Figura 4.21 A relação entre massa e peso.





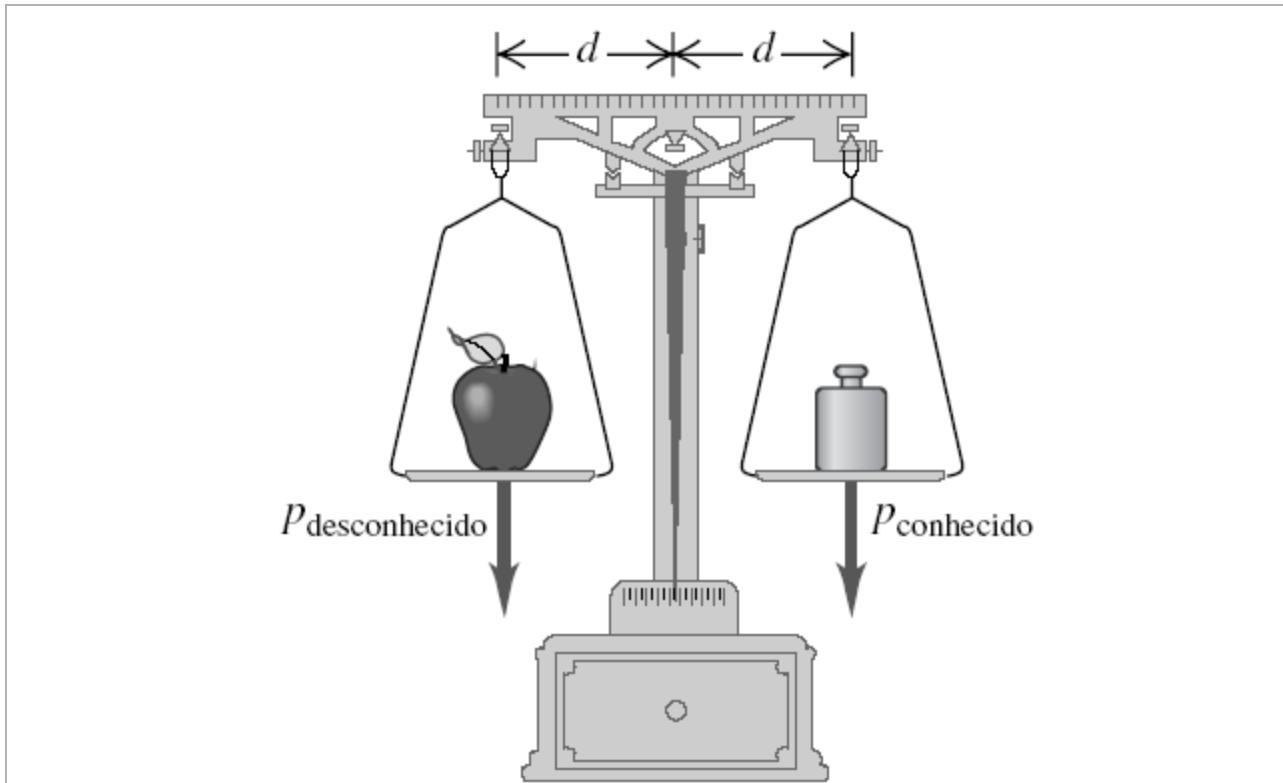
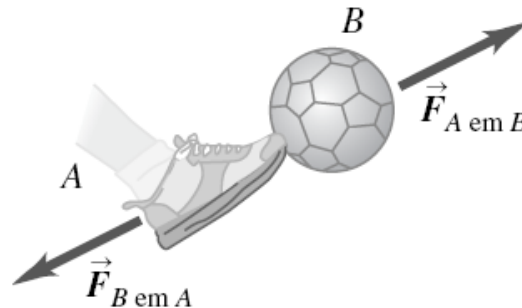


Figura 4.24 Uma balança de braços iguais determina a massa de um corpo (como maçã) comparando o seu peso a um dado peso.

Terceira lei de Newton e os pares de ação e reação: a terceira lei de Newton afirma que quando dois corpos interagem, a força que o primeiro exerce sobre o segundo é exatamente igual e contrária à força que o segundo exerce sobre o primeiro. Essas forças são denominadas forças de ação e reação. Cada força de um par de ação e reação atua separadamente em somente um corpo; as forças de ação e reação nunca podem atuar sobre o mesmo corpo.

$$\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A} \quad (4.11)$$



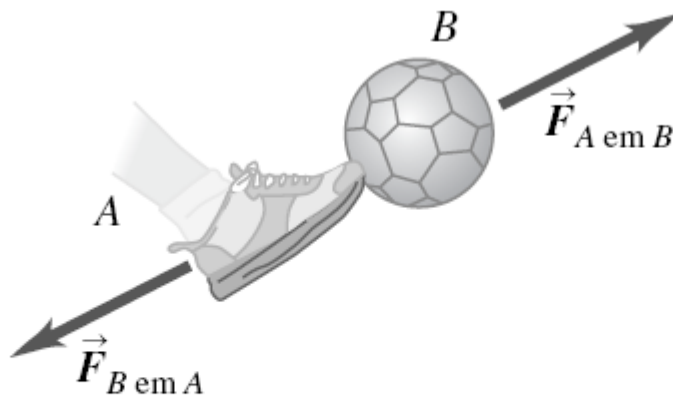
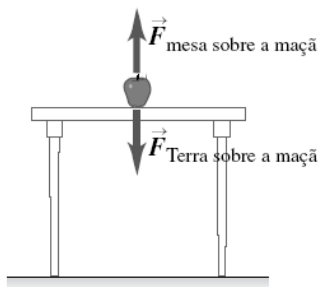
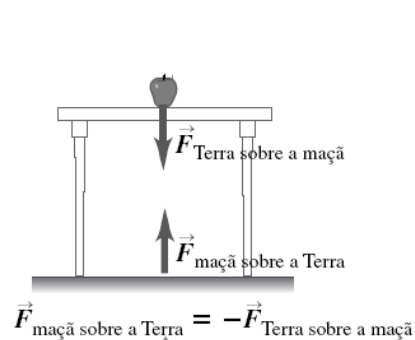


Figura 4.25 Quando um corpo A exerce uma força $\vec{F}_{A \text{ em } B}$, então o corpo B exerce uma força $\vec{F}_{B \text{ em } A}$, que possui o mesmo módulo e a mesma direção, mas sentido contrário: $\vec{F}_{A \text{ em } B} = -\vec{F}_{B \text{ em } A}$.

(a) As forças que atuam sobre a maçã.

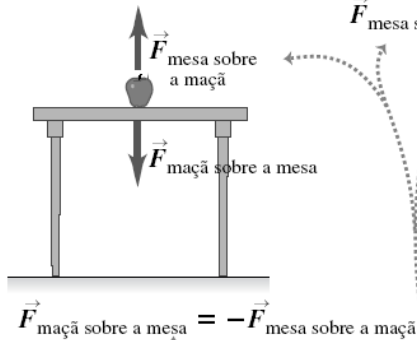


(b) O par de ação e reação para a interação entre a maçã e a Terra.

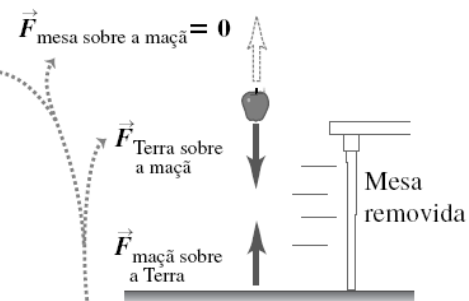


Pares de ação e reação sempre representam uma interação mútua de dois objetos diferentes.

(c) O par de ação e reação para a interação entre a maçã e a mesa.



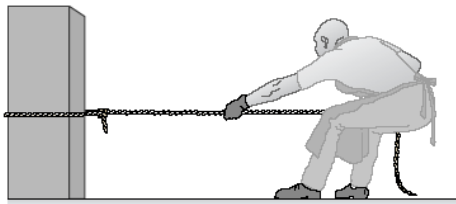
(d) Eliminamos uma das forças que atuam sobre a maçã.



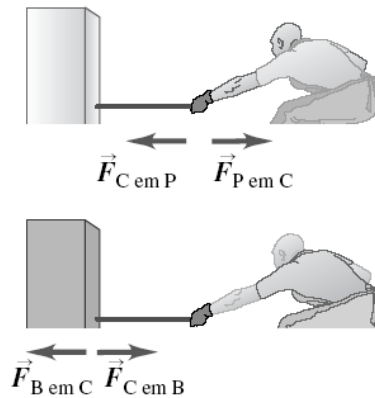
As duas forças sobre a maçã NÃO PODEM ser um par de ação e reação porque atuam sobre o mesmo objeto. Observamos que, eliminando uma, a outra permanece.

Figura 4.26 As duas forças em um par de ação e reação sempre atuam sobre corpos diferentes.

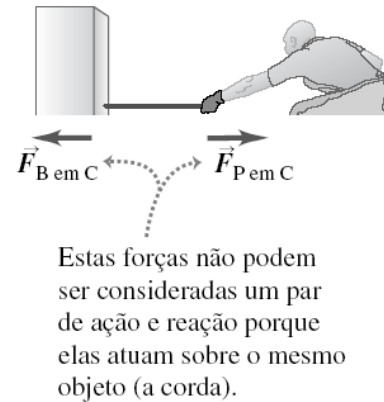
(a) O bloco, a corda e o pedreiro.



(b) Os pares de ação e reação.



(c) Não são pares de ação e reação.



(d) Não necessariamente iguais.

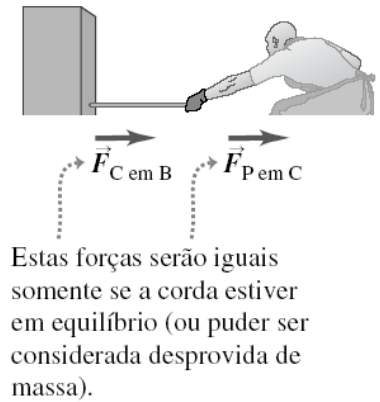


Figura 4.27 Identificação das forças em ação, quando um pedreiro puxa uma corda amarrada a um bloco.

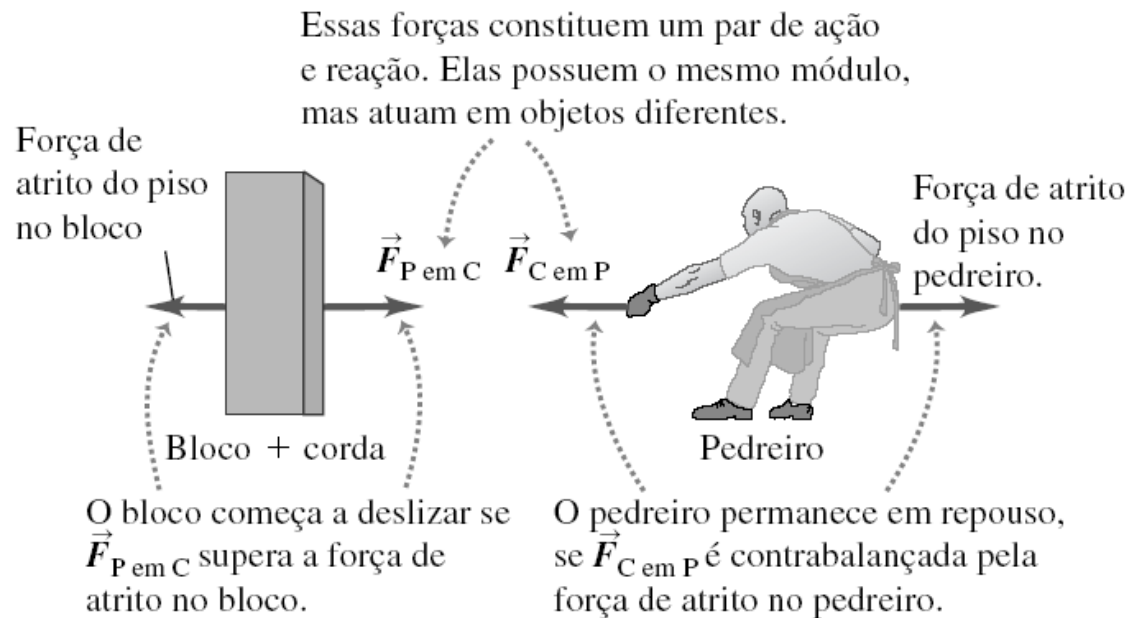


Figura 4.28 As forças horizontais que atuam sobre a combinação bloco-corda (à esquerda) e o pedreiro (à direita). (As forças verticais não são mostradas.)



Figura 4.29 O simples fato de caminhar depende basicamente da terceira lei de Newton. Para se mover para a frente, você empurra o solo para trás com os pés. Em reação, o solo empurra seus pés (e, portanto, todo o seu corpo) com uma força para a frente de mesmo módulo. Essa força *externa* fornecida pelo solo é que produz a aceleração de seu corpo para a frente.