

fica antes ou depois do raio vetor? Use um diagrama do corpo livre da bola para explicar suas respostas. (Note que a resistência do ar pode ser um fator.)

**Q5.24** A força centrífuga não foi incluída nos diagramas indicados nas Figuras 5.28b e 5.29b. Explique por quê.

**Q5.25** Um professor faz uma rolha de borracha girar na extremidade de um fio em um plano horizontal na sala de aula. Aproxima-se de Carolina, que está sentada na primeira fila, e diz que irá largar o fio quando a rolha estiver passando em frente do seu rosto. Carolina deve se preocupar?

**Q5.26** Para manter dentro de certos limites as forças que atuam sobre os passageiros de uma montanha-russa, uma curva projetada para fazer uma volta completa (*loop-the-loop*) deve possuir, em vez de ser um círculo vertical perfeito, um raio de curvatura na base maior do que o raio de curvatura no topo. Explique.

**Q5.27** Você joga uma bola de beisebol diretamente de baixo para cima. Se a resistência do ar *não* for desprezada, como se compara o tempo que a bola leva para subir do ponto de onde ela foi lançada até sua altura máxima e o tempo que ela leva para descer da sua altura máxima até o ponto onde ela foi lançada? Explique sua resposta.

**Q5.28** A força de atrito sobre uma bola de beisebol é sempre oposta à sua velocidade mesmo quando um vento está soprando? Explique.

**Q5.29** Quando pode uma bola de beisebol ter um componente da aceleração de baixo para cima? Explique em termos das forças sobre a bola e em termos dos componentes da velocidade em comparação com a velocidade terminal. A resistência do ar *não* deve ser desprezada.

**Q5.30** Quando uma bola de beisebol se move com arraste do ar, ela leva mais tempo para subir até a altura máxima de sua trajetória ou para descer da altura máxima até o solo? Ou esse tempo é igual nos dois casos? Explique em termos das forças que atuam sobre a bola.

**Q5.31** Quando uma bola de beisebol se move com arraste do ar, percorre uma distância horizontal maior quando ela sobe até a altura máxima de sua trajetória ou quando desce da altura máxima até o solo? Ou essa distância é igual nos dois casos? Explique em termos das forças que atuam sobre a bola.

**Q5.32** “Uma bola é lançada da extremidade de uma montanha elevada. Independentemente do ângulo de lançamento, devido à resistência do ar, ela por fim acabará caindo verticalmente de cima para baixo.” Justifique essa afirmação.

## EXERCÍCIOS

### SEÇÃO 5.2 USO DA PRIMEIRA LEI DE NEWTON: PARTÍCULAS EM EQUILÍBRIO

**5.1** Dois pesos de 25,0 N estão suspensos nas extremidades opostas de uma corda que passa sobre uma polia leve e sem atrito. O centro da polia está ligado a uma corrente presa ao teto. a) Qual a tensão na corda? b) Qual a tensão na corrente?

**5.2** Na Figura 5.35, cada bloco suspenso possui peso  $w$ . As polias não possuem atrito e as cordas possuem peso desprezível. Calcule em cada caso a tensão  $T$  na corda em termos do peso  $w$ . Para cada caso inclua um diagrama do corpo livre ou diagramas necessários para obter sua resposta.

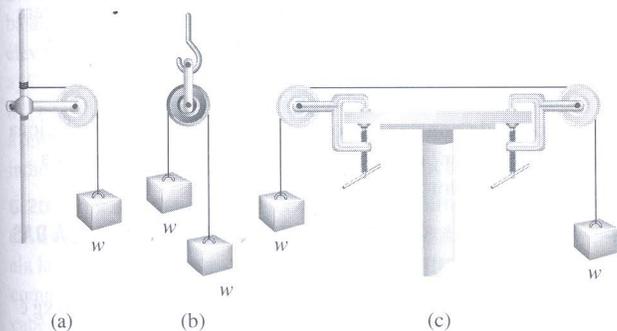


FIGURA 5.35 Exercício 5.2.

**5.3** Um arqueólogo aventureiro passa de um rochedo para outro se deslocando lentamente com as mãos por meio de uma corda esticada entre os rochedos. Ele pára e fica em repouso no meio da corda (Figura 5.36). A corda se romperá se a tensão for maior do que  $2,50 \times 10^4$  N e se a massa do nosso herói for de 90,0 kg. a) Se  $\theta = 10,0^\circ$ , qual é a tensão na corda? b) Qual deve ser o menor valor de  $\theta$  para a corda não se romper?

**5.4** Um quadro está suspenso em uma parede por dois fios ligados em seus cantos superiores. Se os dois fios fazem o mesmo ângulo com a vertical, qual deve ser o ângulo se a tensão em cada

fio for igual a 0,75 do peso do quadro? (Despreze o atrito entre a parede e o quadro.)

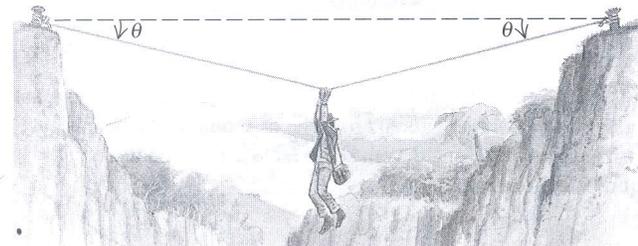


FIGURA 5.36 Exercício 5.3.

**5.5** Resolva o problema do Exemplo 5.3 usando um sistema em que o eixo  $Ox$  seja horizontal e o eixo  $Oy$  seja vertical. Você encontra a mesma resposta usando esse conjunto diferente de eixos?

**5.6** Uma rua de São Paulo possui uma inclinação de  $17,5^\circ$  com a horizontal. Qual é a força paralela à rua necessária para impedir que um carro de 1390 kg desça a ladeira dessa rua?

**5.7** Uma bola grande de um guindaste de demolição é mantida em equilíbrio por dois cabos de aço leves (Figura 5.37). Se a massa  $m$  da bola for igual a 4090 kg, qual é a) a tensão  $T_B$  no cabo que faz um ângulo de  $40^\circ$  com a vertical? b) a tensão  $T_A$  no cabo horizontal?

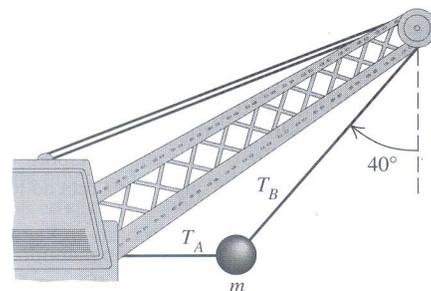


FIGURA 5.37 Exercício 5.7.

**5.8** Ache a tensão em cada corda na Figura 5.38, sabendo que o peso suspenso é  $w$ .

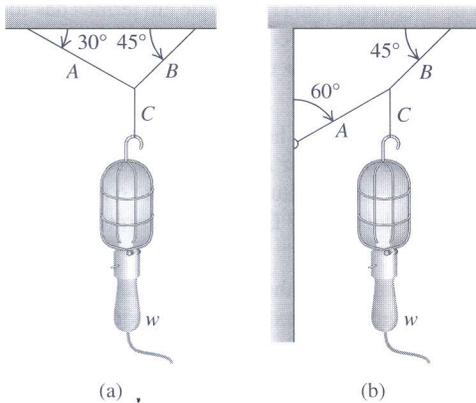


FIGURA 5.38 Exercício 5.8.

**5.9** Quando você está dirigindo da sua casa à faculdade, seu carro (massa igual a 1600 kg) viaja a uma velocidade constante igual a 72 km/h sem nenhum vento. O exame de um mapa topográfico mostra que na auto-estrada por onde você passou a altura diminuiu de 200 m a cada 6000 m de percurso. Qual é a força resistiva total (atrito mais resistência do ar) que estava atuando sobre o carro quando ele se deslocava a 72 km/h?

**5.10** Um homem empurra um piano de 180 kg de modo que ele desliza com velocidade constante para baixo de uma rampa inclinada de  $11,0^\circ$  acima da horizontal. Despreze o atrito que atua sobre o piano. Se a força aplicada pelo homem for paralela ao plano inclinado, ache o módulo dessa força.

**5.11** Na Figura 5.39, o peso suspenso  $w$  é igual a 60,0 N. a) Qual é a tensão na corda diagonal? b) Ache os módulos das forças horizontais  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  que devem ser exercidas para manter em equilíbrio esse sistema.

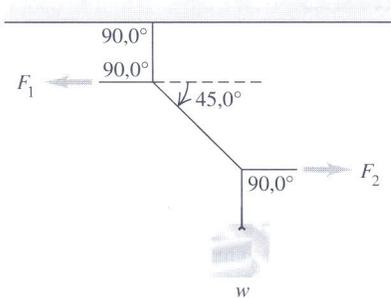


FIGURA 5.39 Exercício 5.11.

**5.12** Uma bola está presa por um fio em um suporte vertical (Figura 5.40). Se o fio no qual a bola está amarrada possui comprimento de 1,40 m e a bola possui raio de 0,110 m e massa de 0,270 kg, qual é a tensão na corda e a força que o suporte exerce sobre a bola? Despreze o atrito entre o suporte e a bola. (O fio está amarrado de tal forma que a linha reta ao longo do fio passa pelo centro da bola.)

**5.13** Dois blocos, cada um com peso  $w$ , são mantidos em equilíbrio em um plano inclinado sem atrito (Figura 5.41). Em termos de  $w$  e do ângulo  $\alpha$  do plano inclinado, determine a

tensão a) na corda que conecta os dois blocos; b) na corda que conecta o bloco A com a parede. c) Calcule o módulo da força que o plano inclinado exerce sobre cada bloco. d) Interprete suas respostas para os casos  $\alpha = 0$  e  $\alpha = 90^\circ$ .



FIGURA 5.40 Exercício 5.12.

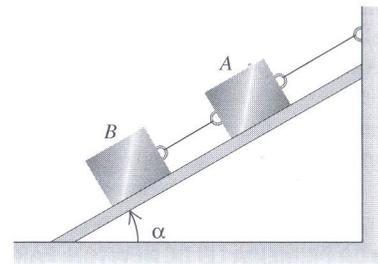


FIGURA 5.41 Exercício 5.13.

**5.14** Um avião voa em um plano horizontal com velocidade constante. Existem quatro forças atuando sobre ele: seu peso  $w = mg$ , uma força  $F$  orientada para a frente fornecida pelo motor (força de propulsão), a resistência do ar, ou força de arraste  $f$ , que atua em sentido contrário ao do movimento, e uma força de sustentação  $L$  oriunda das asas e que atua ortogonalmente à direção do voo. A força de arraste  $f$  é proporcional ao quadrado da velocidade. a) Mostre que  $F = f$  e que  $L = w$ . b) Suponha que o piloto empurre a alavanca para a frente fazendo dobrar a propulsão  $F$ , enquanto mantém a altitude constante. O avião finalmente atinge uma outra velocidade constante de módulo mais elevado. Para essa nova velocidade constante, como o novo valor de  $f$  se relaciona com o antigo valor? c) Qual é a razão entre o novo valor da velocidade e o valor anterior?

SEÇÃO 5.3 USO DA SEGUNDA LEI DE NEWTON: DINÂMICA DAS PARTÍCULAS

**5.15 Máquina de atwood.** Uma carga de tijolos com 15,0 kg é suspensa pela extremidade de uma corda que passa sobre uma pequena polia sem atrito. Um contrapeso de 28,0 kg está preso na outra extremidade da corda, conforme mostra a Figura 5.42. O sistema é libertado a partir do repouso. a) Desenhe um diagrama do corpo livre para a carga de tijolos e outro para o contrapeso. b) Qual é o módulo da aceleração de baixo para cima da carga de tijolos? c) Qual é a tensão na corda durante o movimento da carga? Como essa tensão é relacionada com a carga? Como essa tensão é relacionada com o contrapeso?

**5.16** Um bloco de gelo de 8,00 kg é libertado a partir do repouso no topo de uma rampa sem atrito de comprimento igual a 1,50 m e desliza para baixo atingindo uma velocidade de 2,50 m/s na base da rampa. Qual é o ângulo entre a rampa e a horizontal?

Indique a região em que não ocorre nenhum movimento, o ponto no qual o bloco está na iminência de se mover, e a região em que o bloco está em movimento.

**5.25** Um trabalhador empurra uma caixa com massa de 11,2 kg sobre uma superfície horizontal com velocidade constante igual a 3,50 m/s. O coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a superfície é igual a 0,20. a) Que força horizontal deve ser aplicada pelo trabalhador para manter o movimento? b) Se a força calculada em (a) fosse removida, qual seria a distância percorrida pela caixa até ela entrar em repouso?

**5.26** Uma caixa com bananas pesando 40,0 N está em repouso sobre uma superfície horizontal. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e a superfície é igual a 0,40, e o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a superfície é igual a 0,20. a) Se nenhuma força horizontal for aplicada sobre a caixa, quando ela estiver em repouso, qual será o valor da força de atrito exercida sobre a caixa? b) Se um macaco aplicar uma força horizontal de 6,0 N sobre a caixa, quando ela estiver em repouso, qual será o valor da força de atrito exercida sobre a caixa? c) Qual a força horizontal mínima que o macaco deve aplicar sobre a caixa para que ela comece a se mover? d) Qual a força horizontal mínima que o macaco deve aplicar sobre a caixa para que ela, depois de começar a se mover, possa se manter em movimento com velocidade constante? e) Se o macaco aplicar sobre a caixa uma força horizontal de 18,0 N, qual será o valor da força de atrito exercida sobre a caixa?

**5.27** Em um laboratório de física, uma caixa com 6,00 kg é empurrada através de uma mesa larga por uma força horizontal  $\vec{F}$ . a) Se a caixa se move com velocidade constante igual a 0,350 m/s e o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a superfície é igual a 0,12, qual é o módulo de  $\vec{F}$ ? b) Qual é o módulo de  $\vec{F}$  quando a caixa aumenta de velocidade com uma aceleração constante de 0,180 m/s<sup>2</sup>? c) Quais seriam as mudanças das respostas dos itens (a) e (b) se essas experiências fossem realizadas na Lua, onde  $g = 1,62 \text{ m/s}^2$ ?

**5.28** Uma caixa de laranjas de 85 N está sendo empurrada ao longo de um piso horizontal. À medida que ela se move sua velocidade diminui a uma taxa constante de 0,90 m/s a cada segundo. A força aplicada possui componente horizontal de 20 N e um componente vertical de 25 N de cima para baixo. Calcule o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e piso.

**5.29** Um cofre de 260 kg deve descer com velocidade constante de uma rampa de 20,0 m de comprimento do alto de um caminhão de 2,00 m de altura. a) Se o coeficiente de atrito cinético entre o cofre e a rampa for igual a 0,25, deve o cofre ser empurrado para cima ou para baixo? b) Qual seria a força paralela necessária à rampa?

**5.30** a) Se o coeficiente de atrito cinético entre os pneus e um pavimento seco for de 0,80, qual é a menor distância para fazer um carro parar bloqueando as rodas com o freio quando o carro se desloca a 28,7 m/s? b) Sobre um pavimento molhado, o coeficiente de atrito cinético se reduz a 0,25. A que velocidade você poderia dirigir no pavimento molhado para que o carro parasse na mesma distância calculada em (a)? (Nota: Bloquear os freios não é a melhor maneira de parar.)

**5.31** Uma arruela polida de latão desliza ao longo de uma superfície de aço até parar. Usando os valores da Tabela 5.1, qual a distância a mais que ela poderia deslizar com a mesma velocidade inicial se a arruela fosse revestida de Teflon?

**5.32** Considere o sistema indicado na Figura 5.44. O bloco A possui peso  $w_A$  e o bloco B possui peso  $w_B$ . Suponha que o bloco B desça com velocidade constante. a) Ache o coeficiente de atrito

cinético entre o bloco A e o topo da mesa. b) Suponha que um gato, também com peso  $w_A$ , caia no sono sobre o bloco A. Se o bloco B agora se move livremente, qual é sua aceleração (módulo, direção e sentido)?

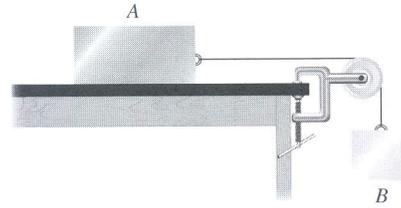


FIGURA 5.44 Exercício 5.32, Exercício 5.35 e Problema 5.68.

**5.33** Duas caixas estão ligadas por uma corda sobre uma superfície horizontal (Figura 5.45). A caixa A possui massa  $m_A$  e a caixa B possui massa  $m_B$ . O coeficiente de atrito cinético entre cada caixa e a superfície é  $\mu_C$ . As caixas são empurradas para a direita com velocidade constante por uma força horizontal  $\vec{F}$ . Em termos de  $m_A$ , de  $m_B$  e de  $\mu_C$ , calcule a) o módulo da força  $\vec{F}$ ; b) a tensão na corda que conecta os blocos. Inclua um diagrama do corpo livre ou os diagramas que você usou para achar suas respostas.

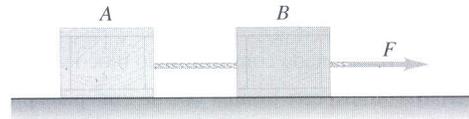


FIGURA 5.45 Exercício 5.33.

**5.34** Duas rodas de bicicleta são lançadas rolando com a mesma velocidade inicial de 3,50 m/s ao longo de uma estrada retilínea. Medimos então a distância percorrida por cada uma até o momento em que a velocidade se reduziu à metade do valor inicial. O pneu de uma está inflado com uma pressão de 1,6 atm ( $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ) e percorreu uma distância de 18,0 m. O da outra está inflado com uma pressão de 4 atm e percorreu uma distância de 92,0 m. Calcule o coeficiente de atrito de rolamento  $\mu_R$  para cada roda. Suponha que a força horizontal resultante seja devida apenas ao atrito de rolamento.

**5.35** Como indicado na Figura 5.44, o bloco A (massa de 2,25 kg) está em repouso sobre o topo de uma mesa. Ele é ligado a um bloco B (massa de 1,30 kg) por uma corda horizontal que passa sobre uma polia leve e sem atrito. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco A e o topo da mesa é de 0,450. Depois que os blocos são libertados, ache a) a velocidade de cada bloco depois que eles se movem 3,00 cm; b) a tensão na corda. Inclua um diagrama do corpo livre ou os diagramas que você usou para achar suas respostas.

**5.36** Uma caixa de livros de 25,0 kg está em repouso sobre uma rampa que faz um ângulo  $\alpha$  com a horizontal. O coeficiente de atrito cinético é de 0,25 e o coeficiente de atrito estático é de 0,35. a) A medida que o ângulo  $\alpha$  aumenta, qual é o ângulo mínimo no qual a caixa começa a deslizar? b) Para esse ângulo, ache a aceleração depois que a caixa começa a deslizar. c) Para esse ângulo, ache a velocidade da caixa depois que ela percorreu 5,0 m ao longo do plano inclinado.

**5.37** Um engradado grande de massa  $m$  está em repouso sobre um piso horizontal. Os coeficientes de atrito entre o piso e o engradado são  $\mu_C$  e  $\mu_S$ . Uma mulher o empurra para baixo exercendo uma

força  
módulo  
com v  
limite  
seja a  
**5.38**  
horizo  
corda  
horizo  
força  
const  
está e  
necess  
com u  
Arrast  
piso e  
valor  
pelo i  
**5.39**  
5.46 e  
de 25,  
atrito  
C des  
corpo  
sobre  
c) Qu  
fosse e

FIGURA

**5.40**  
(5.12).

**5.41**  
que o p  
pára-q  
mesmo  
termin

**5.42**  
força d  
compo  
da velo  
b) ela s

SEÇÃO

**5.43**  
um fio  
tensão  
A pedr  
uma m  
Calcul  
fio se r

**5.44**  
de uma

Questões para Discussão.) A corda para secar roupa ou qualquer cabo flexível preso em suas extremidades sob ação do próprio peso adquire a forma de uma *catenária*. Para um tratamento mais avançado dessa curva, veja SYMON, K. R. *Mechanics*, 3. ed. Addison-Wesley, Reading, MA, 1971. p. 237-241.

**5.63** Um bloco de massa  $M$  é amarrado na extremidade inferior de uma corda de massa  $m$  e comprimento  $L$ . Uma força  $\vec{F}$  constante é aplicada de baixo para cima na extremidade superior da corda, fazendo com que o bloco e a corda sejam acelerados para cima. Ache a tensão na corda a uma distância  $x$  da sua extremidade superior, onde  $x$  pode ter qualquer valor entre 0 e  $L$ .

**5.64** Um bloco de massa  $m_1$  está sobre um plano inclinado com um ângulo de inclinação  $\alpha$  e está ligado por uma corda que passa sobre uma polia pequena a um segundo bloco suspenso de massa  $m_2$  (Figura 5.50). O coeficiente de atrito cinético é  $\mu_c$  e o coeficiente de atrito estático é  $\mu_s$ . a) Ache a massa  $m_2$  para a qual o bloco de massa  $m_1$  sobe o plano com velocidade constante depois que ele entra em movimento. b) Ache a massa  $m_2$  para a qual o bloco de massa  $m_1$  desce o plano com velocidade constante depois que ele entra em movimento. c) Para que valores de  $m_2$  os blocos permanecem em repouso depois de eles serem libertados a partir do repouso?

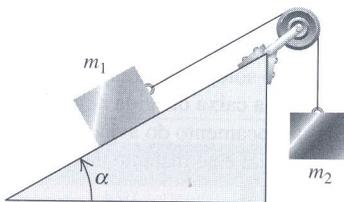


FIGURA 5.50 Problema 5.64.

**5.65** a) O bloco A da Figura 5.51 pesa 60,0 N. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície sobre a qual ele se apoia é de 0,25. O peso  $w$  é igual a 12,0 N, e o sistema está em equilíbrio. Calcule a força de atrito exercida sobre o bloco A. b) Ache o peso  $w$  máximo que permite ao sistema ficar em equilíbrio.

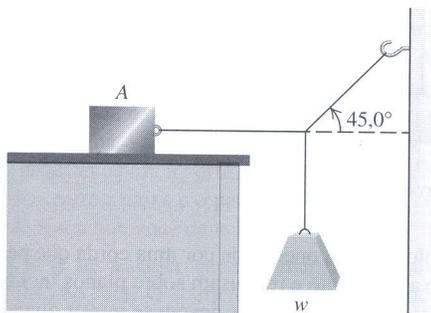


FIGURA 5.51 Problema 5.65.

**5.66** O bloco A da Figura 5.52 pesa 1,20 N e o bloco B pesa 3,60 N. O coeficiente de atrito cinético entre todas as superfícies é 0,300. Determine o módulo da força horizontal  $\vec{F}$  necessária para arrastar o bloco B para a esquerda com velocidade constante, quando a) o bloco A está sobre o bloco B e se move com ele (Figura 5.52a); b) o bloco A é mantido em repouso (Figura 5.52b).

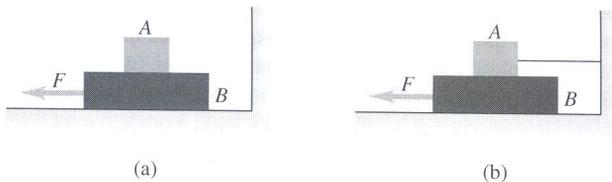


FIGURA 5.52 Problema 5.66.

**5.67** Um lavador de vidraças empurra sua escova com velocidade constante para cima de uma janela vertical aplicando uma força  $\vec{F}$ , como indicado na Figura 5.53. A escova pesa 12,0 N e o coeficiente de atrito cinético é  $\mu_c = 0,150$ . Ache: a) o módulo da força  $\vec{F}$ ; b) a força normal exercida pela janela sobre a escova.

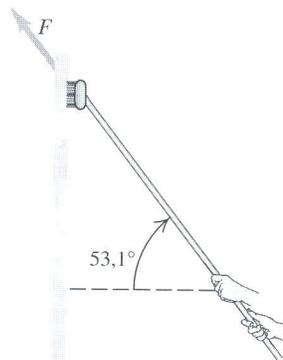


FIGURA 5.53 Problema 5.67.

**5.68** No sistema indicado na Figura 5.44, o bloco A possui massa  $m_A$  e o bloco B possui massa  $m_B$  e a corda que liga os blocos possui massa diferente de zero  $m_{\text{corda}}$ . A corda possui comprimento total  $L$  e a polia possui raio muito pequeno. Ignore qualquer concavidade na parte horizontal da corda. a) Se não existe atrito entre o bloco A e o topo da mesa, ache a aceleração dos blocos no instante em que um comprimento  $d$  da corda fica suspenso verticalmente entre a polia e o bloco B. À medida que o bloco B cai, o módulo da aceleração cresce, diminui ou permanece constante? Explique. b) Considere  $m_A = 2,00$  kg,  $m_B = 0,400$  kg,  $m_{\text{corda}} = 0,160$  kg e  $L = 1,00$  m. Se existe atrito entre o bloco A e o topo da mesa, com  $\mu_c = 0,200$  e  $\mu_s = 0,250$ , calcule o valor da distância mínima  $d$  tal que os blocos comecem a se mover se eles inicialmente estavam em repouso. c) Repita a parte (b) para o caso  $m_{\text{corda}} = 0,040$  kg. Os blocos se moverão nesse caso?

**5.69** Se o coeficiente de atrito estático entre a superfície de uma mesa e uma corda com massa grande é  $\mu_s$ , qual é a fração da corda que pode ficar suspensa abaixo da extremidade da mesa sem que a corda deslize para baixo?

**5.70** Uma mulher tenta empurrar uma caixa cheia de livros com massa  $m$  para o alto de um plano inclinado com um ângulo de inclinação  $\alpha$  acima da horizontal. Os coeficientes de atrito entre o plano inclinado e a caixa são  $\mu_s$  e  $\mu_c$ . A força  $\vec{F}$  aplicada pela mulher é horizontal. a) Se  $\mu_s$  for maior do que um certo valor crítico, a mulher não consegue fazer a caixa se mover por maior que seja a força que ela realize. Calcule esse valor crítico de  $\mu_s$ . b) Suponha que o valor de  $\mu_s$  seja menor do que esse valor crítico. Qual é o módulo da força aplicada pela mulher para fazer a caixa se deslocar para cima do plano inclinado com velocidade constante?

**5.71** Uma caixa com 30,0 kg está inicialmente em repouso sobre o piso de uma caminhonete de 1500 kg. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o piso da caminhonete é 0,30 e o coeficiente de atrito cinético é 0,20. Antes de cada aceleração fornecida abaixo, a caminhonete estava se deslocando do sul para