

**3.3** Um projetista de páginas da Internet cria uma animação na qual um ponto da tela do computador possui posição  $\vec{r} = [4,0 \text{ cm} + (2,5 \text{ cm/s}^2)t^2]\hat{i} + (5,0 \text{ cm/s})t\hat{j}$ . a) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade média do ponto para o intervalo entre  $t_1 = 0$  e  $t_2 = 2,0$  s. b) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade instantânea para  $t_1 = 0$  e  $t_2 = 2,0$  s. c) Faça um desenho da trajetória do ponto no intervalo entre  $t_1 = 0$  e  $t_2 = 2,0$  s e mostre as velocidades calculadas em (b).

**3.4** Se  $\vec{r} = bt^2\hat{i} + ct^3\hat{j}$ , onde  $b$  e  $c$  são constantes positivas, quando o vetor velocidade faz um ângulo de  $45,0^\circ$  com o eixo  $Ox$  ou com o eixo  $Oy$ ?

### RESUMO

#### SEÇÃO 3.3 VETOR ACELERAÇÃO

**3.5** Um avião a jato está voando a uma altura constante. No instante  $t_1 = 0$ , os componentes da velocidade são  $v_x = 90$  m/s,  $v_y = 110$  m/s. No instante  $t_2 = 30,0$  s, os componentes são  $v_x = -170$  m/s,  $v_y = 40$  m/s. a) Faça um esboço do vetor velocidade para  $t_1$  e para  $t_2$ . Qual a diferença entre estes vetores? Para esse intervalo de tempo, calcule b) os componentes da aceleração média, c) o módulo, a direção e o sentido da aceleração média.

**3.6** A velocidade de um cachorro correndo em um campo aberto possui componentes  $v_x = 2,6$  m/s,  $v_y = -1,8$  m/s para  $t_1 = 10,0$  s. Para o intervalo de tempo entre  $t_1 = 10,0$  s e  $t_2 = 20,0$  s, a aceleração média do cachorro possui módulo igual a  $0,45 \text{ m/s}^2$ , formando um ângulo de  $31,0^\circ$  medido considerando uma rotação do eixo  $+Ox$  para o eixo  $+Oy$ . Para  $t_2 = 20,0$  s, a) quais são os componentes  $x$  e  $y$  da velocidade do cachorro? b) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade do cachorro. c) Faça um desenho mostrando o vetor velocidade para  $t_1$  e para  $t_2$ . Qual é a diferença entre estes vetores?

**3.7** Um pássaro voando em um plano  $xy$  possui coordenadas  $x = \alpha t$  e  $y = 3,0 \text{ m} - \beta t^2$ , onde  $\alpha = 2,4$  m/s e  $\beta = 1,2$  m/s<sup>2</sup>. a) Faça um esboço da trajetória do pássaro entre  $t = 0$  e  $t = 2,0$  s. b) Ache o vetor velocidade e o vetor aceleração do pássaro em função do tempo. c) Ache o módulo, a direção e o sentido do vetor velocidade e do vetor aceleração do pássaro para  $t = 2,0$  s. d) Faça um esboço do vetor velocidade e do vetor aceleração do pássaro para  $t = 2,0$  s. Nesse instante, a velocidade escalar do pássaro está aumentando, diminuindo ou é constante? O pássaro está fazendo uma volta? Em caso positivo, em que sentido?

**3.8** Uma partícula segue uma trajetória indicada na Figura 3.31. Entre os pontos  $B$  e  $D$ , a trajetória é uma linha reta. Desenhe o vetor aceleração em  $A$ ,  $C$  e  $E$  para os casos em que a) a partícula se move com velocidade escalar constante; b) a partícula se move com velocidade escalar que cresce uniformemente; c) a partícula se move com velocidade escalar que decresce uniformemente.

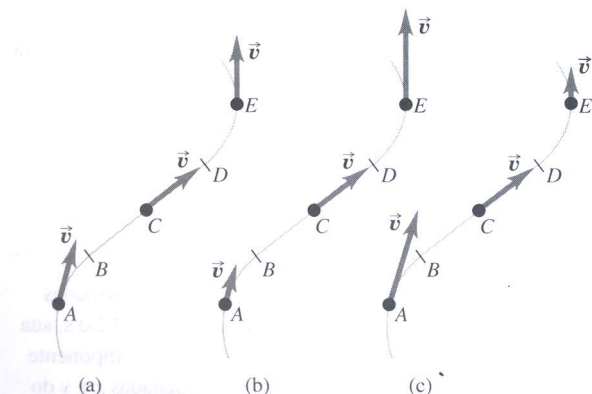


FIGURA 3.31 Exercício 3.8.

#### SEÇÃO 3.4 MOVIMENTO DE UM PROJÉTIL

**3.9** Um livro de física escorrega horizontalmente para fora do topo de uma mesa com velocidade de  $1,10$  m/s. Ele colide com o solo em  $0,350$  s. Desprezando a resistência do ar, ache a) a altura do topo da mesa até o solo; b) a distância horizontal entre a extremidade da mesa e o ponto onde ele colidiu com o solo; c) os componentes da velocidade do livro e o módulo, a direção e o sentido da velocidade imediatamente antes de o livro atingir o solo; d) faça diagramas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento.

**3.10** Um helicóptero militar em missão de treinamento voa horizontalmente com velocidade de  $60,0$  m/s e acidentalmente deixa cair uma bomba (felizmente não ativa) a uma altura de  $300$  m. Despreze a resistência do ar. a) Quanto tempo a bomba leva para atingir o solo? b) Qual a distância horizontal percorrida pela bomba durante a queda? c) Ache os componentes da velocidade na direção horizontal e na vertical imediatamente antes de a bomba atingir o solo. d) Faça diagramas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento da bomba. e) Mantida constante a velocidade do helicóptero, onde estaria ele no momento em que a bomba atingisse o solo?

**3.11** Uma bola de futebol é chutada com velocidade inicial  $v_0 = 15,0$  m/s, formando um ângulo inicial  $\alpha_0 = 45,0^\circ$ . a) Ache o tempo  $T$  quando a bola atinge a altura máxima. b) Nos três instantes  $t_1 = T - 0,50$  s,  $t_2 = T$  e  $t_3 = T + 0,50$  s, ache os componentes  $x$  e  $y$  do vetor posição. c) Para os instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  determine o módulo, a direção e o sentido do vetor velocidade. d) Para os instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  determine os componentes do vetor aceleração que sejam paralelos (ou antiparalelos) ao vetor velocidade e ache os componentes do vetor aceleração que sejam perpendiculares ao vetor velocidade. e) Faça um esboço da trajetória da bola. Nesse esboço, identifique a posição da bola nos instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ . Em cada um desses pontos, desenhe o vetor velocidade e os componentes paralelos e perpendiculares do vetor aceleração. f) Discuta como a velocidade escalar e a direção do movimento da bola variam com o tempo nos instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  e explique como os vetores do seu desenho descrevem essas variações.

**3.12** Uma bola de tênis rola para fora da extremidade de uma mesa situada a uma altura igual a  $0,750$  m acima do solo e atinge o solo em um ponto situado a  $1,40$  m da extremidade da mesa. Despreze a resistência do ar. a) Ache o tempo de percurso. b) Ache o módulo da velocidade inicial. c) Ache o módulo, a direção e o sentido da velocidade da bola imediatamente antes de a bola atingir o solo. d) Faça diagramas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento.

**3.13** Uma pistola de sinalização atira uma bala luminosa com velocidade inicial (velocidade na saída do cano) igual a  $120$  m/s. a) Se a bala é atirada a  $55^\circ$  acima da horizontal em uma região plana de Brasília, qual é seu alcance horizontal? Despreze a resistência do ar. b) Se a bala fosse atirada nas mesmas condições em uma região plana da Lua, onde  $g = 1,6 \text{ m/s}^2$ , qual seria seu alcance horizontal?

**3.14** Pelé chuta uma bola de futebol com velocidade inicial tal que o componente vertical é igual a  $16,0$  m/s e o componente horizontal é igual a  $20,0$  m/s. Despreze a resistência do ar. a) Que tempo a bola leva para atingir a altura máxima de sua trajetória? b) Qual a altura desse ponto? c) Quanto tempo a bola leva (desde o momento do chute inicial) até o instante em que ela retorna ao mesmo nível inicial? Qual é a relação entre esse tempo e o calculado no item (a)? d) Que distância horizontal ela percorreu durante esse tempo? e) Faça diagramas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento.

**3.15** Mark McGwire bate uma bola de beisebol de forma que ela abandona o bastão com velocidade de  $30,0$  m/s formando um

módulo, a direção e o sentido da aceleração do passageiro nesse instante. b) Faça um desenho do passageiro e da roda-gigante mostrando o vetor velocidade e o vetor aceleração.

**3.27** Uma pista de corrida plana possui forma elíptica. (Consulte um manual de matemática ou uma enciclopédia para caracterizar uma elipse.) Um carro viaja ao longo dessa pista com velocidade escalar constante. a) Faça um desenho mostrando o vetor velocidade e o vetor aceleração do carro em cinco pontos diferentes dessa trajetória. b) O vetor aceleração do carro sempre aponta para o centro geométrico da elipse? Explique. c) Para qual(is) ponto(s) da elipse a aceleração do carro possui maior módulo? Explique.

### SEÇÃO 3.6 VELOCIDADE RELATIVA

**3.28** Um vagão plano aberto de um trem se desloca para a direita com velocidade de 13,0 m/s relativa a um observador fixo no solo. Uma motoneta está se deslocando sobre o vagão (Figura 3.34). Qual é a velocidade (módulo e sentido) da motoneta em relação ao vagão se a sua velocidade em relação a um observador fixo no solo é a) 18,0 m/s para a direita? b) 3,0 m/s para a esquerda? c) zero?

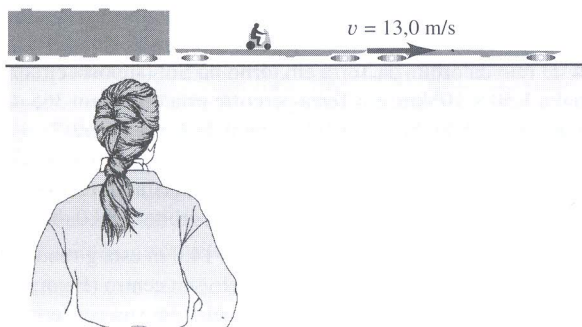


FIGURA 3.34 Exercício 3.28.

**3.29** A “esteira rolante horizontal” do terminal de um aeroporto possui comprimento igual a 35,0 m e se desloca a 1,0 m/s. Suponha uma mulher se deslocando a 1,5 m/s em relação à esteira e partindo da extremidade da esteira. Quanto tempo leva para atingir a outra extremidade da esteira se ela se move a) no mesmo sentido da esteira? b) em sentido contrário ao da esteira?

**3.30** Dois píeres estão localizados em um rio: o píer B está situado a 1500 m de A corrente abaixo (Figura 3.35). Dois amigos devem fazer um percurso do píer A ao píer B e depois voltar. Um deles vai de barco com velocidade constante de

4,00 km/h em relação à água. O outro caminha pela margem do rio com velocidade constante de 4,00 km/h. A velocidade do rio é igual a 2,80 km/h no sentido de A para B. Calcule o tempo de cada um para fazer o percurso de ida e volta.

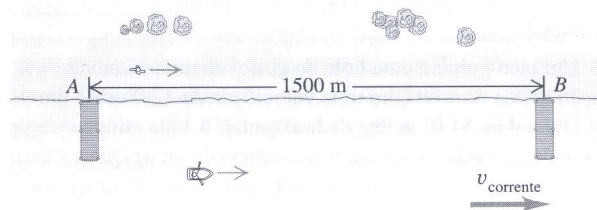


FIGURA 3.35 Exercício 3.30.

**3.31** Uma canoa possui velocidade de 0,40 m/s do sul para leste em relação à Terra. A canoa se desloca em um rio que escoia a 0,50 m/s do oeste para leste em relação à Terra. Determine o módulo, a direção e o sentido da velocidade da canoa em relação ao rio.

**3.32** O piloto de um avião deseja voar de leste para oeste. Um vento de 80,0 km/h sopra do norte para o sul. a) Se a velocidade do avião em relação ao ar (sua velocidade se o ar estivesse em repouso) é igual a 320,0 km/h, qual deve ser a direção que o piloto deve escolher? b) Qual é a velocidade do avião em relação ao solo? Ilustre sua solução com um diagrama vetorial.

**3.33** A água de um rio se escoia com velocidade de 2,0 m/s do norte para o sul. Um homem dirige um barco com motor através do rio; sua velocidade em relação à água é igual a 4,2 m/s de oeste para leste. A largura do rio é igual a 800 m. a) Determine o módulo, a direção e o sentido da sua velocidade em relação à Terra. b) Quanto tempo é necessário para atravessar o rio? c) A que distância ao sul do ponto inicial ele atingirá a margem oposta?

**3.34** a) Em que direção o barco do Exercício 3.33 deveria se deslocar para atingir a margem oposta diretamente a leste do ponto inicial? (Sua velocidade em relação à água permanece igual a 4,2 m/s.) b) Qual a velocidade do barco em relação à Terra? c) Quanto tempo é necessário para atravessar o rio?

**3.35** Um avião ultraleve aponta de norte para sul, e seu indicador de velocidade em relação ao ar mostra 35 m/s. O avião está submetido a um vento de 10 m/s que sopra na direção sudoeste em relação à Terra. a) Faça um diagrama vetorial mostrando a relação entre os vetores dados e  $\vec{v}_{P/E}$  (a velocidade do avião em relação à Terra). b) Usando a coordenada  $x$  para o leste e a coordenada  $y$  para o norte, determine os componentes de  $\vec{v}_{P/E}$ . c) Determine o módulo, a direção e o sentido de  $\vec{v}_{P/E}$ .

## PROBLEMAS

**3.36** Um modelo de foguete se move no plano  $xy$  (o sentido positivo do eixo vertical  $Oy$  é de baixo para cima). A aceleração do foguete possui os componentes  $a_x(t) = \alpha t^2$  e  $a_y(t) = \beta - \gamma t$ , onde  $\alpha = 2,50 \text{ m/s}^4$ ,  $\beta = 9,00 \text{ m/s}^2$  e  $\gamma = 1,40 \text{ m/s}^3$ . Para  $t = 0$ , o foguete está na origem e possui velocidade  $\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{i} + v_{0y}\hat{j}$ , sendo  $v_{0x} = 1,00 \text{ m/s}$  e  $v_{0y} = 7,00 \text{ m/s}$ . a) Determine o vetor velocidade e o vetor posição em função do tempo. b) Qual a altura máxima atingida pelo foguete? c) Faça um desenho da trajetória do foguete. d) Qual o deslocamento horizontal do foguete quando ele retorna para o ponto  $y = 0$ ?

**3.37** Um estudante se move em um plano  $xy$  num quarto escuro tentando localizar uma nota de R\$ 50. As coordenadas do estudante em função do tempo são  $x(t) = \alpha t$  e  $y(t) = 15,0 \text{ m} - \beta t^2$ , onde  $\alpha = 1,20 \text{ m/s}$  e  $\beta = 0,500 \text{ m/s}^2$ . Embora o estudante não saiba, a nota de R\$ 50 se encontra na origem. a) Em que instantes a velocidade do estudante é perpendicular à sua aceleração? b) Em quais instantes a velocidade do estudante não varia instantaneamente? c) Em quais instantes a velocidade do estudante é perpendicular ao seu vetor posição? Onde se encontra o estudante nesses instantes? d) Qual é a distância mínima entre a

nota de R\$ 50 e o estudante? Em que instante essa distância mínima é atingida? e) Faça um desenho da trajetória do infeliz estudante.

**3.38** Um pássaro voa em um plano  $xy$  com um vetor velocidade dado por  $\vec{v} = (\alpha - \beta t^2)\hat{i} + \gamma t\hat{j}$ , sendo  $\alpha = 2,4 \text{ m/s}$ ,  $\beta = 1,6 \text{ m/s}^3$  e  $\gamma = 4,0 \text{ m/s}^2$ . Em  $t = 0$  o pássaro está na origem. O sentido positivo do eixo vertical  $Oy$  é de baixo para cima. a) Determine o vetor posição e o vetor aceleração do pássaro em função do tempo. b) Qual é a altura do pássaro (coordenada  $y$ ) quando ele voa sobre  $x = 0$  pela primeira vez depois de  $t = 0$ ?

**3.39** Um Piper Warrior, um pequeno avião com quatro lugares, necessita de 300 m de pista para levantar vôo. Sua velocidade de decolagem é igual a 88 km/h. A seguir ele se inclina com velocidade constante de 88 km/h ao longo de uma trajetória retilínea, passando rente uma linha de transmissão com 15 m de altura situada a uma distância horizontal de 460 m do local onde o avião decola. a) Qual era a aceleração inicial do Piper (suposta constante) durante seu movimento na pista para decolar? b) Depois de o Piper decolar, qual era seu ângulo de vôo acima da horizontal? c) Qual era sua taxa de elevação (em m/s)? d) Qual o tempo decorrido desde o início do movimento até o instante em que o Piper passa rente à linha de transmissão?

**3.40** Um instrutor (que também é professor de física) treina um atleta a arremessar um dardo de modo que ele saia da mão do atleta, a uma altura  $h$ , com velocidade  $\sqrt{25gh/8}$  formando um ângulo de  $36,9^\circ$  acima da horizontal. O dardo continua voando até atingir o solo. O campo em torno do atleta é plano e a resistência do ar é desprezível. a) Faça um desenho da velocidade horizontal do dardo em função do tempo e da velocidade vertical do dardo em função do tempo. b) Calcule a altura máxima alcançada pelo dardo. c) Calcule a distância horizontal que o dardo percorreu desde o instante em que ele deixou a mão do atleta até o instante em que atingiu o solo.

**3.41** Uma equipe de demolição usa dinamite para explodir um edifício velho. Fragmentos da explosão voam em todas as direções, e mais tarde são encontrados num raio de 50 m da explosão. Faça uma estimativa da velocidade máxima atingida pelos fragmentos da explosão. Descreva todas as hipóteses que você usar.

**3.42** Uma dublê de cinema pula de um helicóptero em vôo a 30,0 m acima do solo com velocidade constante cujo componente vertical é igual a 10,0 m/s de baixo para cima e cujo componente horizontal é igual a 15,0 m/s do norte para o sul. Despreze a resistência do ar. a) Em que lugar do solo (em relação ao ponto onde ela abandonou o helicóptero) a dublê colocou almofadas de espuma para amortecer sua queda? b) Faça diagramas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento.

**3.43** No combate a incêndios em florestas, aviões jogam água para ajudar equipes que trabalham no solo. Um piloto em treinamento lança uma caixa com corante vermelho, na esperança de atingir um alvo no solo. Se o avião está voando horizontalmente a 90,0 m acima do solo com velocidade de 64,0 m/s, a que distância horizontal do alvo deve o piloto lançar a caixa? Despreze a resistência do ar.

**3.44** Uma garota joga um saco com água a um ângulo de  $50,0^\circ$  acima da horizontal com velocidade de 12,0 m/s. O componente horizontal da velocidade do saco é direcionado para o carro que se aproxima da garota com velocidade constante de 8,00 m/s (Figura 3.36). Supondo que o saco atinja o carro na mesma altura em que ele abandona a mão da garota, qual é a distância máxima que o carro pode estar da garota quando o saco é jogado? Despreze a resistência do ar.

**3.45 Maior alcance de uma bola de beisebol.** De acordo com o *Guinness Book of World Records*, o recorde de alcance de uma

bola de beisebol foi obtido em uma batida feita por Roy "Dizzy" Carlyle. A bola percorreu uma distância horizontal de 188 m até atingir o solo fora do campo. a) Supondo que a bola tenha sido lançada a  $45,0^\circ$  acima da horizontal e desprezando a resistência do ar, qual era a velocidade inicial da bola para que isso ocorresse, sabendo-se que a bola foi batida em um ponto a 0,9 m acima do nível do solo? Suponha que o solo seja perfeitamente plano. b) Em que ponto a bola passou acima da cerca de 3,0 m de altura, sabendo-se que a cerca estava a uma distância de 116 m do ponto do lançamento da bola?

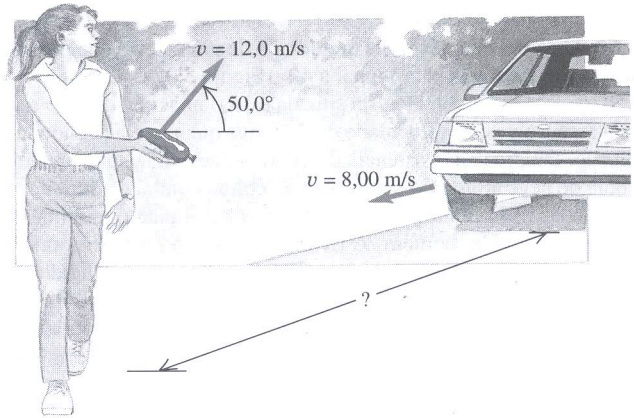


FIGURA 3.36 Problema 3.44.

**3.46** Um dia após sua graduação, você decidiu lançar um fósforo aceso no topo de uma lixeira cilíndrica (diâmetro  $D$  e altura  $2D$ ) cheia de papéis velhos com exercícios para casa. Para tornar esse evento mais esportivo, a parte inferior da lixeira está no mesmo nível do ponto em que o fósforo deixa a sua mão, e a lixeira está a uma distância horizontal de  $6D$  do ponto em que o fósforo deixa a sua mão. Você lança o fósforo com ângulo de  $45,0^\circ$  acima da horizontal. Ache o valor *máximo* e o valor *mínimo* da velocidade inicial do lançamento para que o fósforo entre pela parte superior da lixeira. Despreze a resistência do ar e dê sua resposta em termos de  $g$  e de  $D$ .

**3.47** Você deseja jogar uma bola para um amigo segurá-la no meio do seu quarto. A distância entre o chão e o teto é igual a  $D$  e você lança a bola com velocidade  $v_0 = \sqrt{6gD}$ . Qual é a distância horizontal máxima (em termos de  $D$ ) que a bola pode se deslocar sem que ela seja rebatida pelo teto? (Suponha que a bola tenha sido lançada do chão.)

**3.48** Uma bola de beisebol é batida com ângulo de  $60,0^\circ$  acima da horizontal e atinge um edifício a 18,0 m de distância em um ponto a 8,00 m acima do ponto de lançamento. Despreze a resistência do ar. a) Calcule o módulo da velocidade inicial da bola de beisebol (a velocidade de lançamento da bola de beisebol). b) Determine o módulo, a direção e o sentido da bola de beisebol imediatamente antes de ela atingir o edifício. c) Faça diagramas  $x-t$ ,  $y-t$ ,  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento.

**3.49** Um projétil é lançado com velocidade  $v_0$  formando um ângulo  $\alpha_0$  com a horizontal. O ponto de lançamento está situado a uma altura  $h$  acima do solo. a) Desprezando a resistência do ar, mostre que a distância horizontal percorrida pelo projétil antes de ele atingir o solo é dada por

$$x = \frac{v_0 \cos \alpha_0}{g} \left( v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha_0 + 2gh} \right).$$

Verifique que, se o ponto de lançamento estivesse situado no mesmo nível do solo, isto é,  $h = 0$ , essa expressão se reduziria ao alcance horizontal  $R$  encontrado no Exemplo 3.9. b) Para o caso

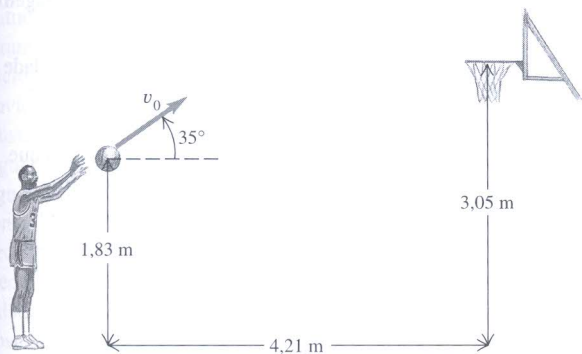


FIGURA 3.40 Problema 3.55.

**3.56** Romeu joga um seixo na janela de Julieta para acordá-la. Infelizmente, o seixo não era muito pequeno e a velocidade inicial do lançamento também não era muito pequena. Imediatamente antes de quebrar o vidro da janela, o seixo se move horizontalmente, tendo já percorrido uma distância horizontal  $x$  e uma distância vertical  $y$  como um projétil. Determine o módulo, a direção e o sentido da velocidade inicial do seixo no momento em que ele abandona a mão de Romeu.

**3.57** Um foguete está inicialmente em repouso no solo. Quando seu motor é ligado, ele dispara em linha reta com uma aceleração constante de módulo igual a  $g$ , formando um ângulo de  $53,1^\circ$  acima da horizontal. O motor pára em um dado instante  $T$  após o lançamento, depois do qual o foguete se torna um projétil. Despreze a resistência do ar e suponha que  $g$  não depende da altura. a) Faça um diagrama do movimento do foguete, desde o momento em que ele é lançado até o instante em que ele retorna ao solo. Indique o vetor velocidade e o vetor aceleração em vários pontos ao longo da trajetória. b) Faça diagramas  $v_x-t$  e  $v_y-t$  para o movimento do foguete desde o momento em que ele é lançado até o instante em que ele retorna ao solo. c) Ache a altura máxima atingida pelo foguete. Sua resposta deve ser dada em função de  $T$  e de  $g$ . d) Ache a distância horizontal entre o ponto em que ele é lançado até o ponto em que ele retorna ao solo (isto é, seu alcance). Sua resposta deve ser dada em função de  $T$  e de  $g$ .

**3.58** Em um filme de aventura, o herói joga uma granada de seu carro, que se desloca a  $90,0 \text{ km/h}$ , atingindo o carro do inimigo, que se desloca a  $110,0 \text{ km/h}$ . O carro do inimigo está a  $15,8 \text{ m}$  à frente do carro do herói quando ele joga a granada. Se o lançamento é tal que sua velocidade inicial em relação a ele forma um ângulo de  $45^\circ$  acima da horizontal, qual deve ser o módulo da velocidade inicial? Os dois carros se deslocam no mesmo sentido numa estrada retilínea e plana. Despreze a resistência do ar. Ache o módulo da velocidade inicial em relação ao herói e em relação à Terra.

**3.59** Uma pedra amarrada em uma corda se move no plano  $xy$ . Suas coordenadas são dadas em função do tempo por

$$x(t) = R \cos \omega t, \quad y(t) = R \sin \omega t,$$

onde  $R$  e  $\omega$  são constantes. a) Mostre que a distância da pedra até a origem é constante e igual a  $R$ , ou seja, sua trajetória é uma circunferência de raio  $R$ . b) Mostre que em cada ponto o vetor velocidade é perpendicular ao vetor posição. c) Mostre que o vetor aceleração é sempre oposto ao vetor posição e possui módulo igual a  $\omega^2 R$ . d) Mostre que o módulo da velocidade da pedra é constante e igual a  $\omega R$ . e) Combine os resultados das partes (c) e (d) para mostrar que a aceleração da pedra possui módulo constante igual a  $v^2/R$ .

**3.60** A velocidade escalar de uma partícula que se move em um plano  $x,y$  é igual ao módulo da velocidade instantânea,  $v = |\vec{v}| = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}$ . a) Mostre que a taxa de variação da velocidade escalar é dada por  $(v_x a_x + v_y a_y) / \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ . b) Use essa expressão para achar o valor de  $dv/dt$  no instante  $t = 2,0 \text{ s}$  para o carro com controle remoto dos Exemplos 3.1, 3.2 e 3.3. Compare sua resposta com os componentes da aceleração encontrados no Exemplo 3.3. Explique por que sua resposta *não* é igual ao módulo da aceleração encontrado na parte (b) do Exemplo 3.2. c) Mostre que a taxa de variação da velocidade escalar pode ser expressa como  $dv/dt = \vec{v} \cdot \vec{a} / v$  e use esse resultado para entender por que  $dv/dt$  é igual a  $a_{\parallel}$ , o componente de  $\vec{a}$  paralelo a  $\vec{v}$ .

**3.61** Uma partícula se move em um plano  $x,y$ . Suas coordenadas são dadas em função do tempo por  $x(t) = R(\omega t - \sin \omega t)$ ,  $y(t) = R(1 - \cos \omega t)$ , onde  $R$  e  $\omega$  são constantes. a) Faça um esboço da trajetória da partícula. (Essa curva é a trajetória de um ponto que se desloca na periferia de uma roda que rola com velocidade escalar constante numa superfície horizontal. A curva traçada por esse ponto enquanto ele se move no espaço denomina-se *ciclóide*.) b) Determine os componentes da velocidade e da aceleração da partícula em qualquer tempo  $t$ . c) Para que instantes a partícula está momentaneamente em repouso? Quais são as coordenadas da partícula nesses instantes? Determine o vetor aceleração. d) O módulo da aceleração é função do tempo? Compare com o movimento circular uniforme.

**3.62** Você está voando em um avião leve, relatando as condições do tráfego para uma emissora de rádio. Seu vôo se dirige de oeste para leste sobre uma estrada. Os marcos da estrada abaixo indicam que sua velocidade é igual a  $50,0 \text{ m/s}$  em relação ao solo e seu indicador de velocidade do ar também mostra  $50,0 \text{ m/s}$ . Contudo, a frente de seu avião aponta ligeiramente para uma direção sudeste e um funcionário do serviço de meteorologia informa a você que está soprando um vento de  $20,0 \text{ m/s}$ . Qual é a direção do vento?

**3.63 O problema do pombo-correio.** Lúcia está dirigindo de oeste para leste a  $40 \text{ km/h}$ . Seu irmão gêmeo Fernando dirige de leste para oeste a  $30 \text{ km/h}$ , se aproximando de Lúcia em um carro idêntico na mesma estrada retilínea. Quando a distância entre eles é de  $42 \text{ km}$ , Lúcia solta um pombo-correio que voa com velocidade constante de  $50 \text{ km/h}$ . (Todas as velocidades são em relação à Terra.) O pombo voa no sentido de Fernando, fica confuso e retorna no sentido de Lúcia, fica mais confuso e retorna no sentido de Fernando. Isso continua até que os gêmeos se encontram, instante em que o pombo-correio cai no chão exausto. Desprezando o tempo das mudanças de direção, qual foi a distância percorrida pelo pombo-correio?

**3.64** Quando a velocidade de um trem é de  $12,0 \text{ m/s}$  de oeste para leste, gotas de chuva caindo verticalmente em relação à Terra fazem traços inclinados de  $30,0^\circ$  nas janelas do trem. a) Qual o componente horizontal da velocidade da gota de chuva em relação à Terra? E em relação ao trem? b) Qual o módulo da velocidade da gota de chuva em relação à Terra? E em relação ao trem?

**3.65** Um piloto de avião coloca o curso da direção de leste para oeste com uma bússola e mantém uma velocidade em relação ao ar de  $220 \text{ km/h}$ . Depois de voar durante  $0,500 \text{ h}$ , ele se encontra sobre uma cidade a  $120 \text{ km}$  a oeste e  $20 \text{ km}$  ao sul da sua posição inicial. a) Ache a velocidade do vento (módulo, direção e sentido). b) Se a velocidade do vento fosse igual a  $40 \text{ km/h}$  do norte para o sul, em que direção o piloto deveria orientar seu curso para que pudesse se dirigir de leste para oeste. Considere a mesma velocidade em relação ao ar de  $220 \text{ km/h}$ .