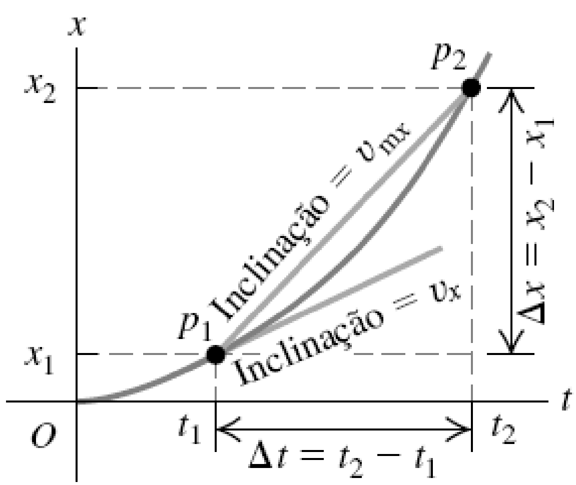
Capítulo 2

Movimento Retilíneo

Movimento retilíneo, velocidade média e velocidade instantânea: quando uma partícula se move em linha reta, descrevemos sua posição em relação à origem O especificando uma coordenada tal como x. A velocidade média da partícula v_{mx} em um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é igual ao seu deslocamento $\Delta x = x_2 - x_1$ dividido por Δt. A velocidade instantânea v_x em qualquer instante t é igual à velocidade média para o intervalo de tempo entre t e $t + \Delta t$ até o limite em que Δt seja zero. Da mesma forma, v_x é a derivativa da função posição em relação ao tempo.

$$v_{mx} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{2.2}$$

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \tag{2.3}$$



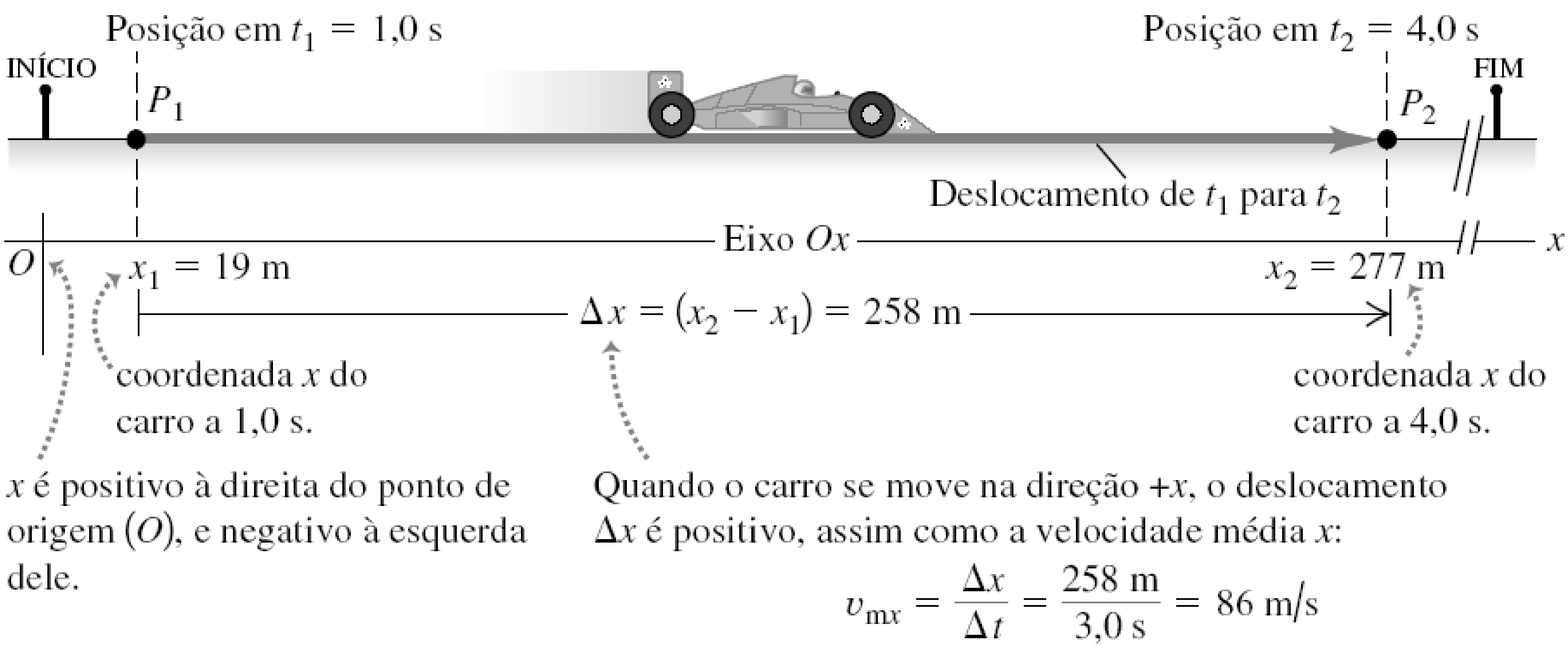


Figura 2.1 Posição de um carro de corrida em dois instantes de sua trajetória.

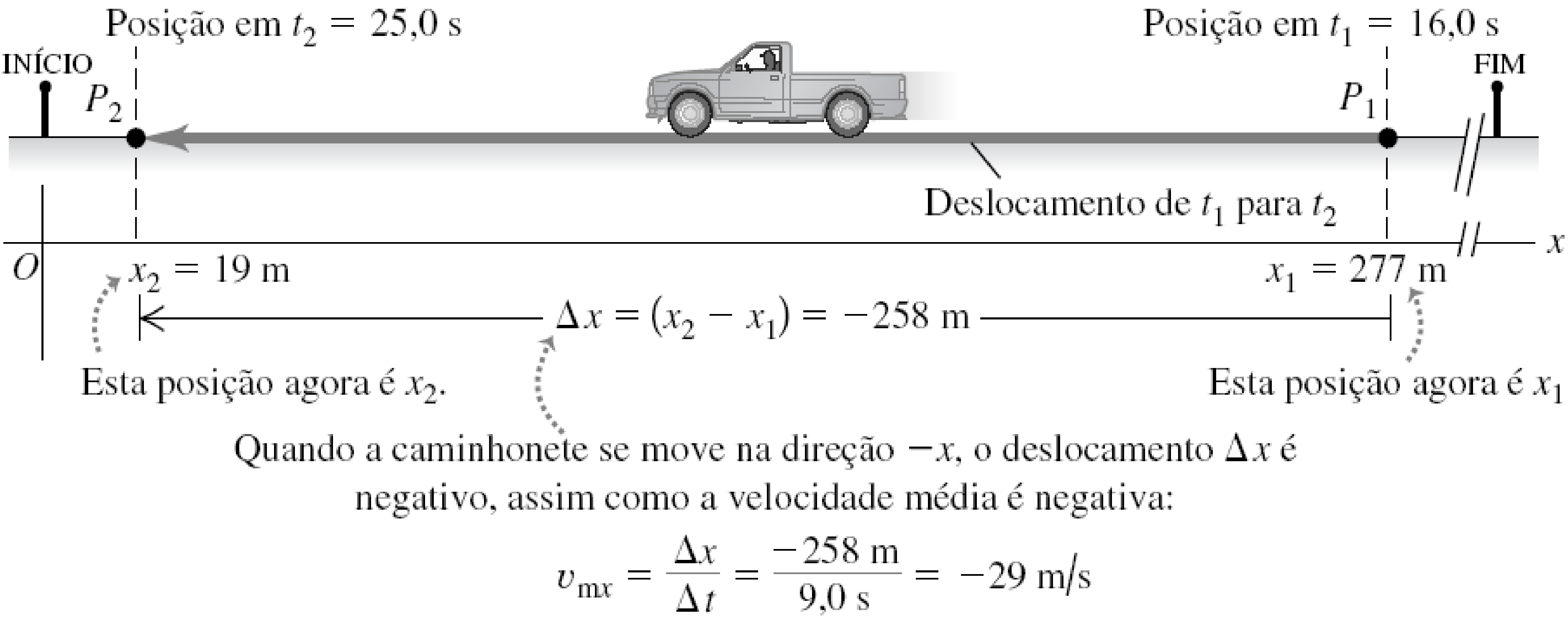


Figura 2.2 Posições de uma caminhonete em dois instantes durante seu movimento. Os pontos P_1 e P_2 referem-se agora ao deslocamento da caminhonete, de modo que eles são diferentes dos pontos da Figura 2.1.

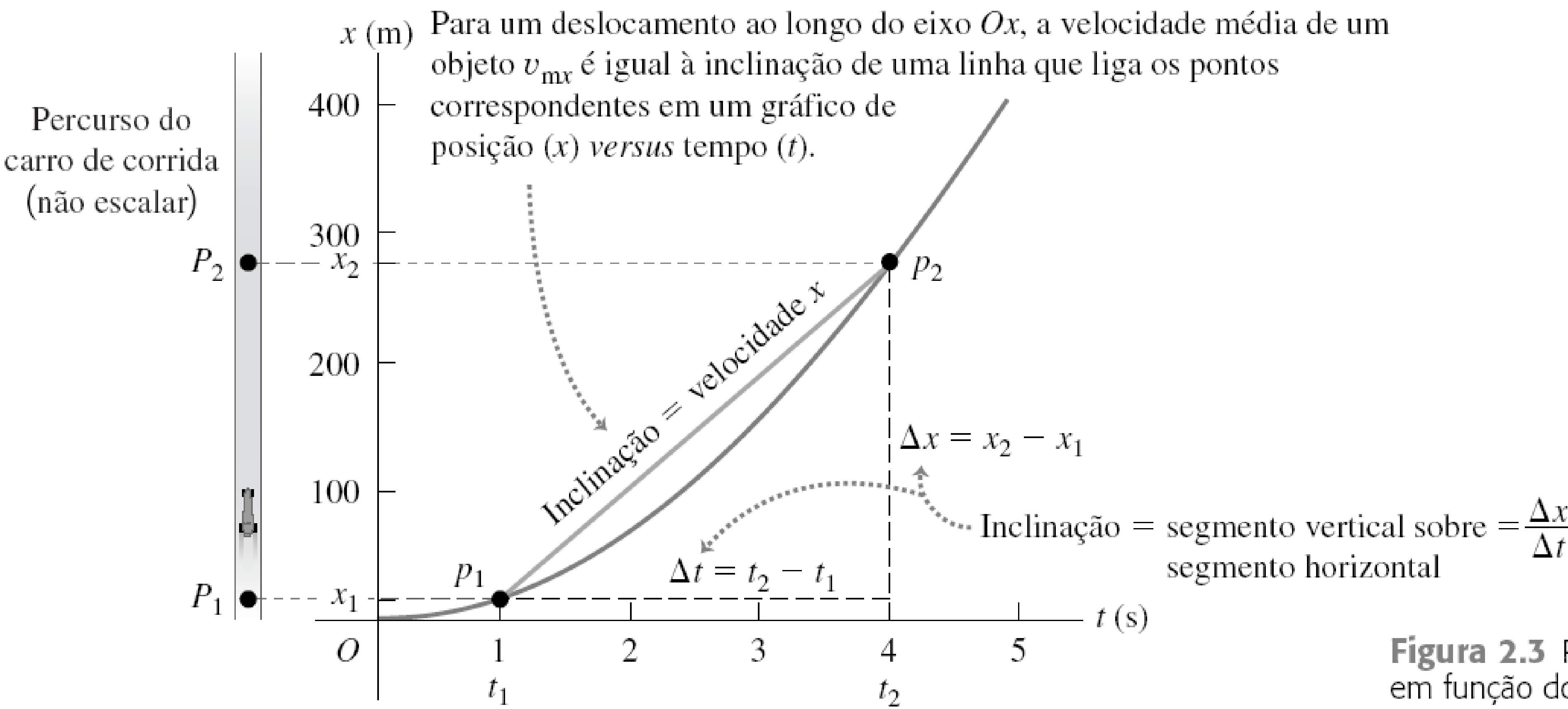


Figura 2.3 P
em função do

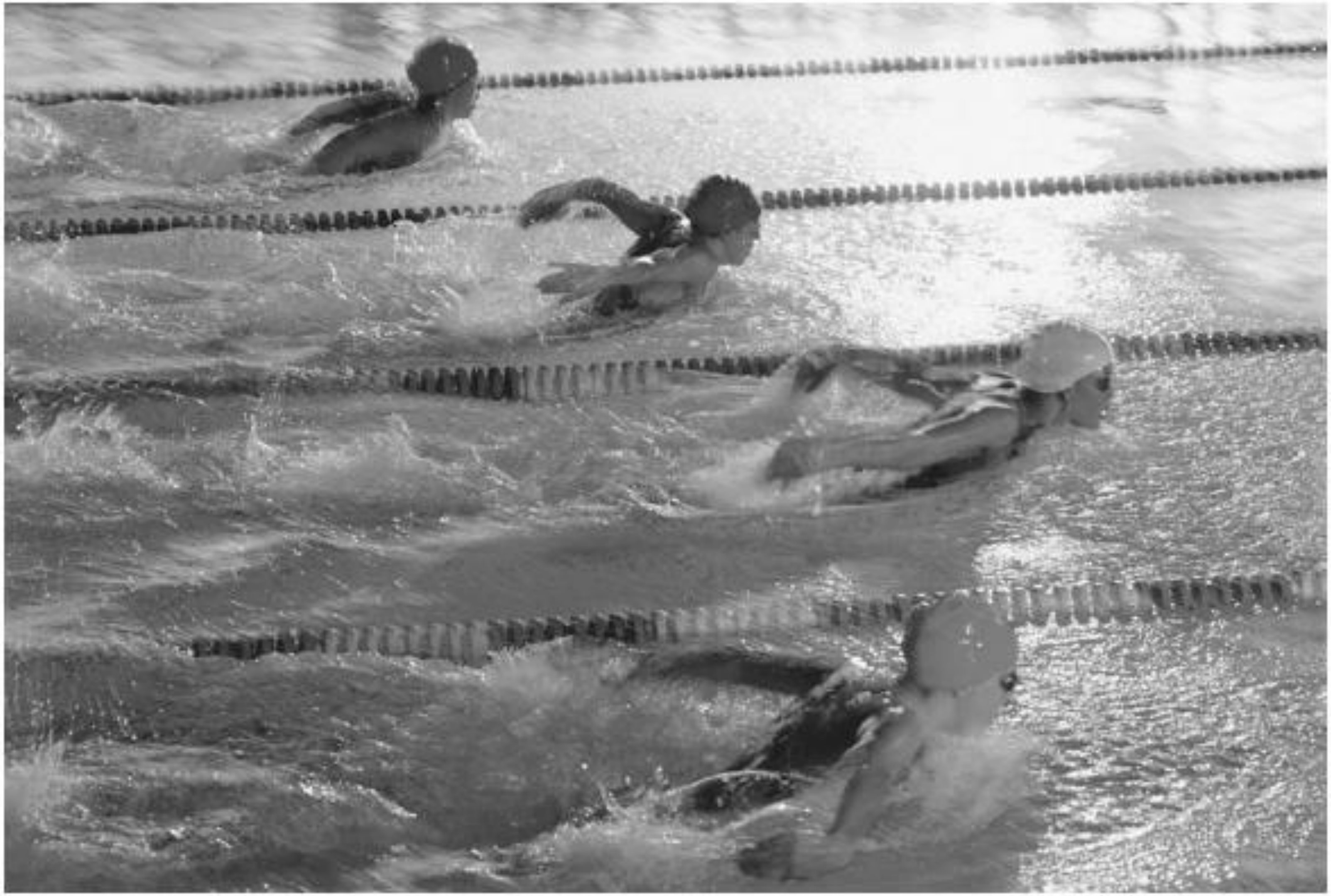
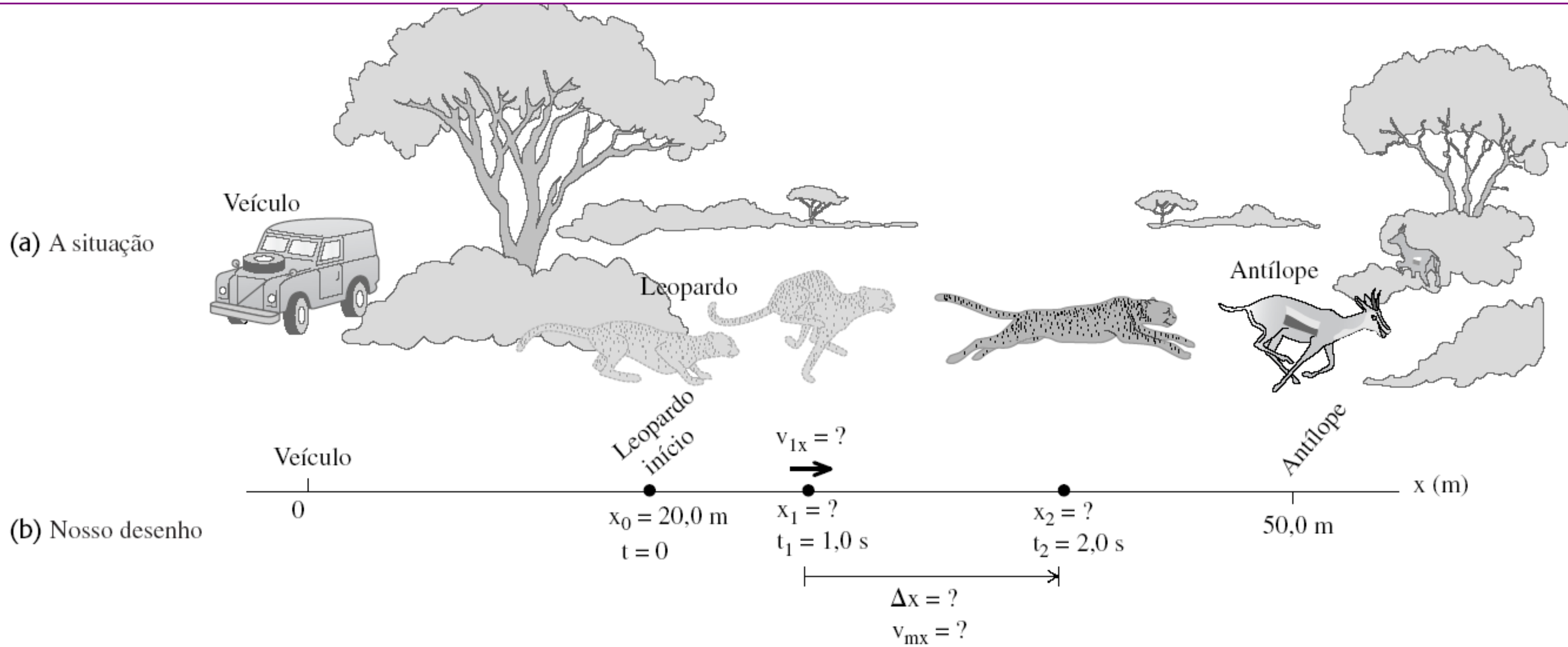


Figura 2.4 O vencedor de uma competição de natação de 50 m é aquele que possui uma velocidade média cujo módulo é o maior de todos, ou seja, o nadador que percorrer a distância Δx de 50 m no menor intervalo de tempo Δt.

Figura 2.5 Mesmo quando se move para a frente, a velocidade instantânea deste ciclista pode ser negativa – caso ele se desloque em relação a um eixo orientado no sentido negativo do eixo *Ox*. Ao resolver um problema, a escolha de qual sentido é positivo depende exclusivamente de você.



(c) Nosso raciocínio

1. Traçamos um eixo apontado na direção em que o leopardo corre, de modo que os nossos valores sejam positivos.
2. Elegemos o veículo como o ponto de origem.
3. Marcamos as posições iniciais do leopardo e do antílope. (Não usaremos a posição do antílope, mas não sabemos disso ainda.)
4. Estamos interessados no movimento do leopardo entre 1 s e 2 s após ele começar a correr e assinalamos esses pontos.
5. Acrescentamos símbolos para grandezas conhecidas e desconhecidas. Usamos subscritos 1 e 2 para os pontos em $t = 1$ s e $t = 2$ s.

Figura 2.6 Leopardo atacando um antílope a partir de uma tocaia. Os animais não estão desenhados na mesma escala do eixo.

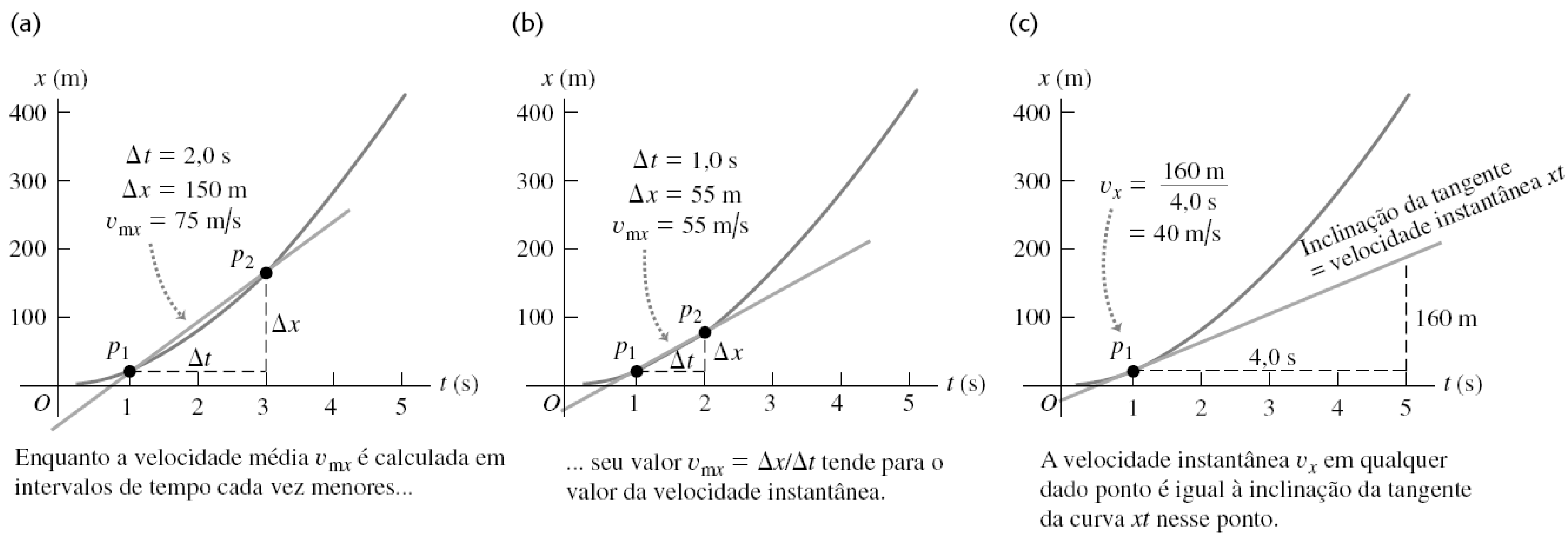


Figura 2.7 Usamos um gráfico *xt* para ir de (a) e (b), velocidade média, para (c), velocidade instantânea v_x. Em (c) achamos a inclinação da tangente para a curva *xt*, dividindo qualquer intervalo vertical (em unidades de distância) ao longo da tangente pelo intervalo horizontal correspondente (em unidades de tempo).

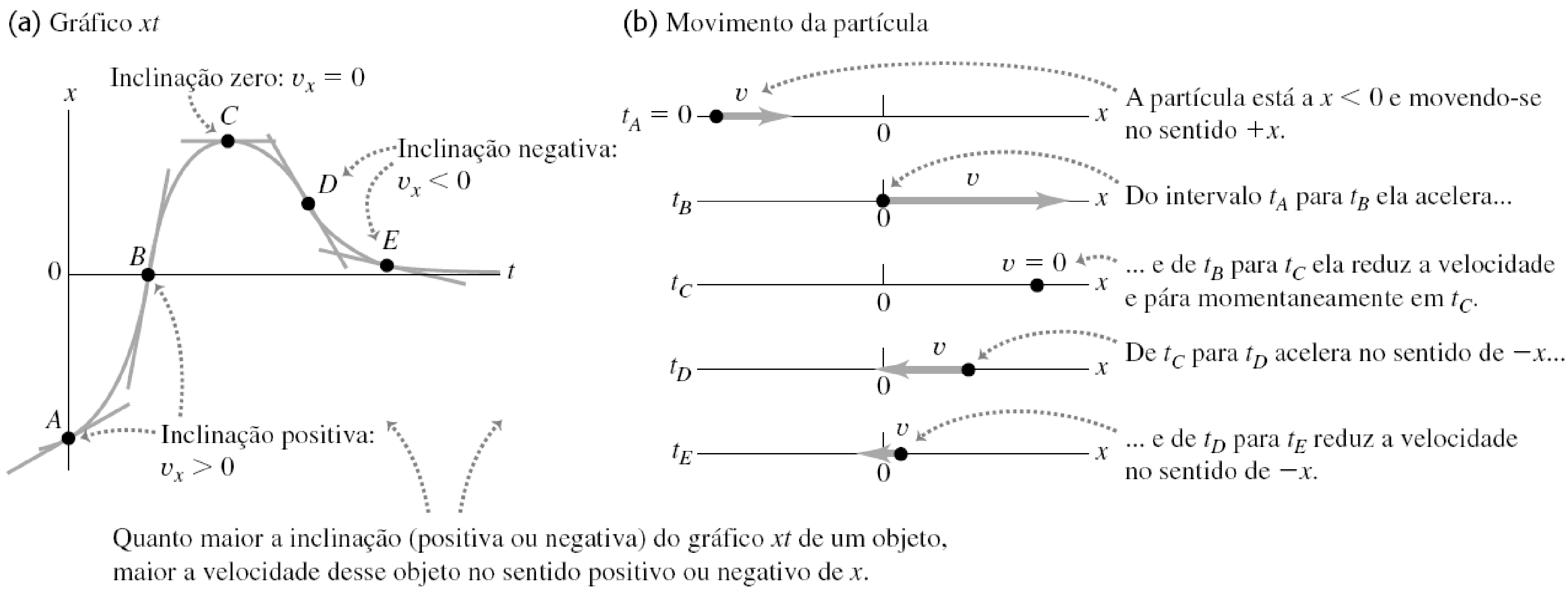


Figura 2.8 (a) Gráfico xt do movimento de uma certa partícula. A inclinação da tangente da curva em qualquer ponto fornece a velocidade nesse ponto. (b) Diagrama do movimento mostrando a posição e a velocidade da partícula em cada um dos cinco instantes indicados no gráfico xt.

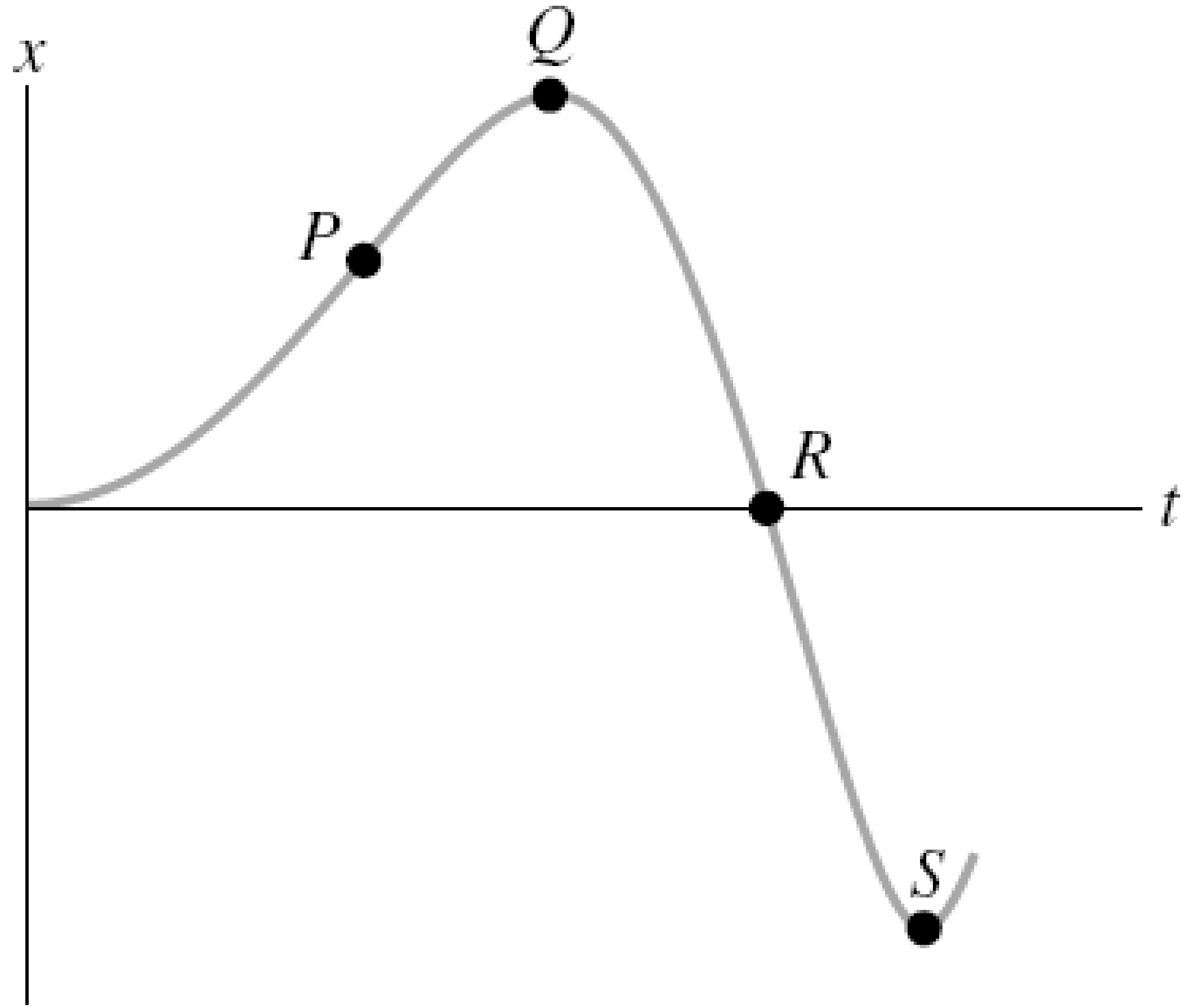
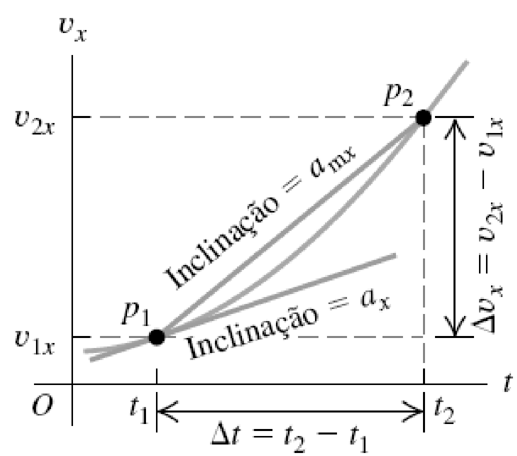


Figura 2.9 Gráfico *xt* para uma partícula.

Aceleração média e instantânea: a aceleração média a_{mx} em um intervalo de tempo Δt é igual à variação em velocidade $\Delta v_x = v_{2x} - v_{1x}$ no intervalo de tempo dividido por Δt. A aceleração instantânea a_x é o limite de a_{mx} conforme Δt tende a zero, ou a derivativa de v_x em relação a t.

$$a_{mx} = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \qquad (2.4)$$

$$a_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt} \qquad (2.5)$$



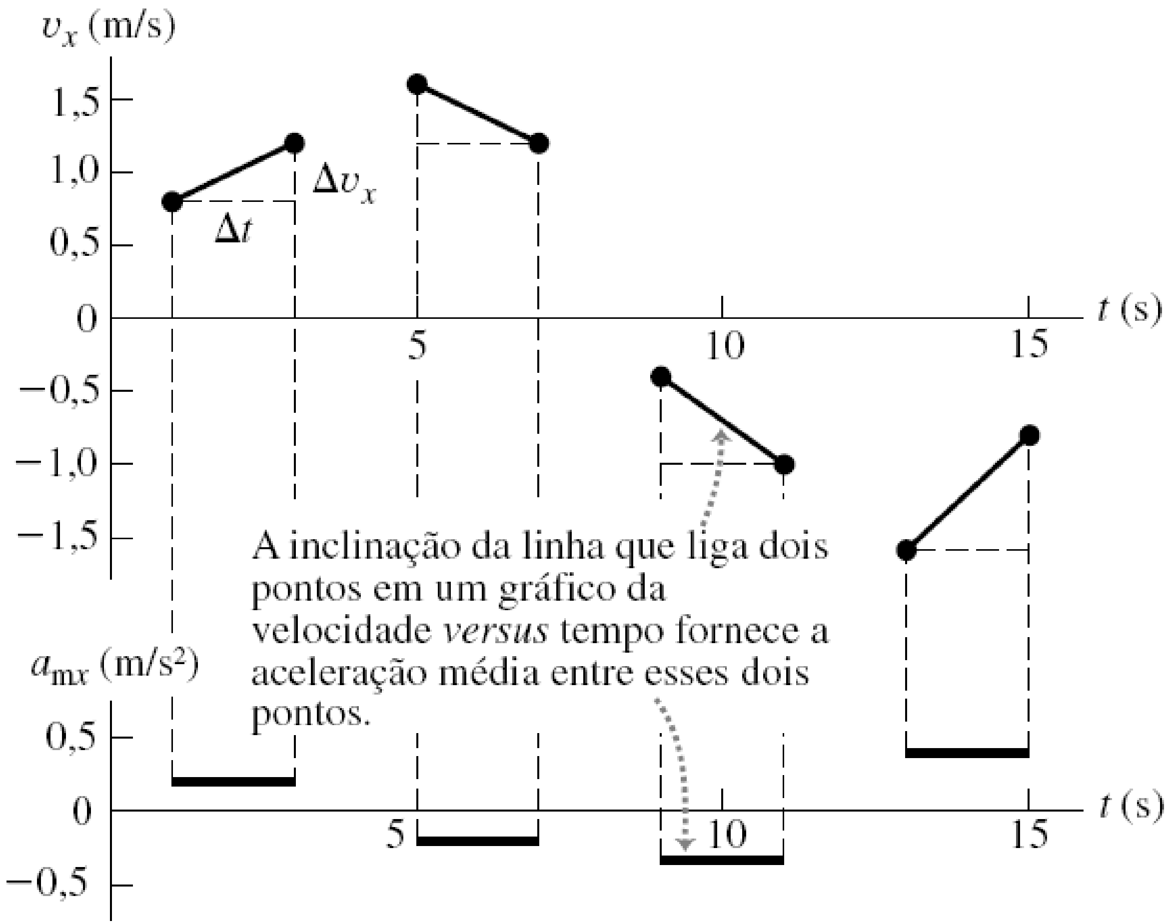


Figura 2.10 Nossos gráficos de velocidade *versus* tempo (parte superior) e aceleração média *versus* tempo (parte inferior) para a astronauta.

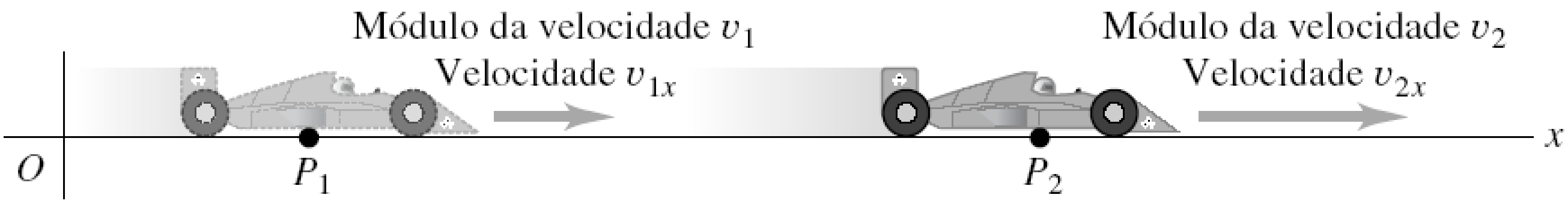


Figura 2.11 Um carro de corrida do Grande Prêmio na reta final.

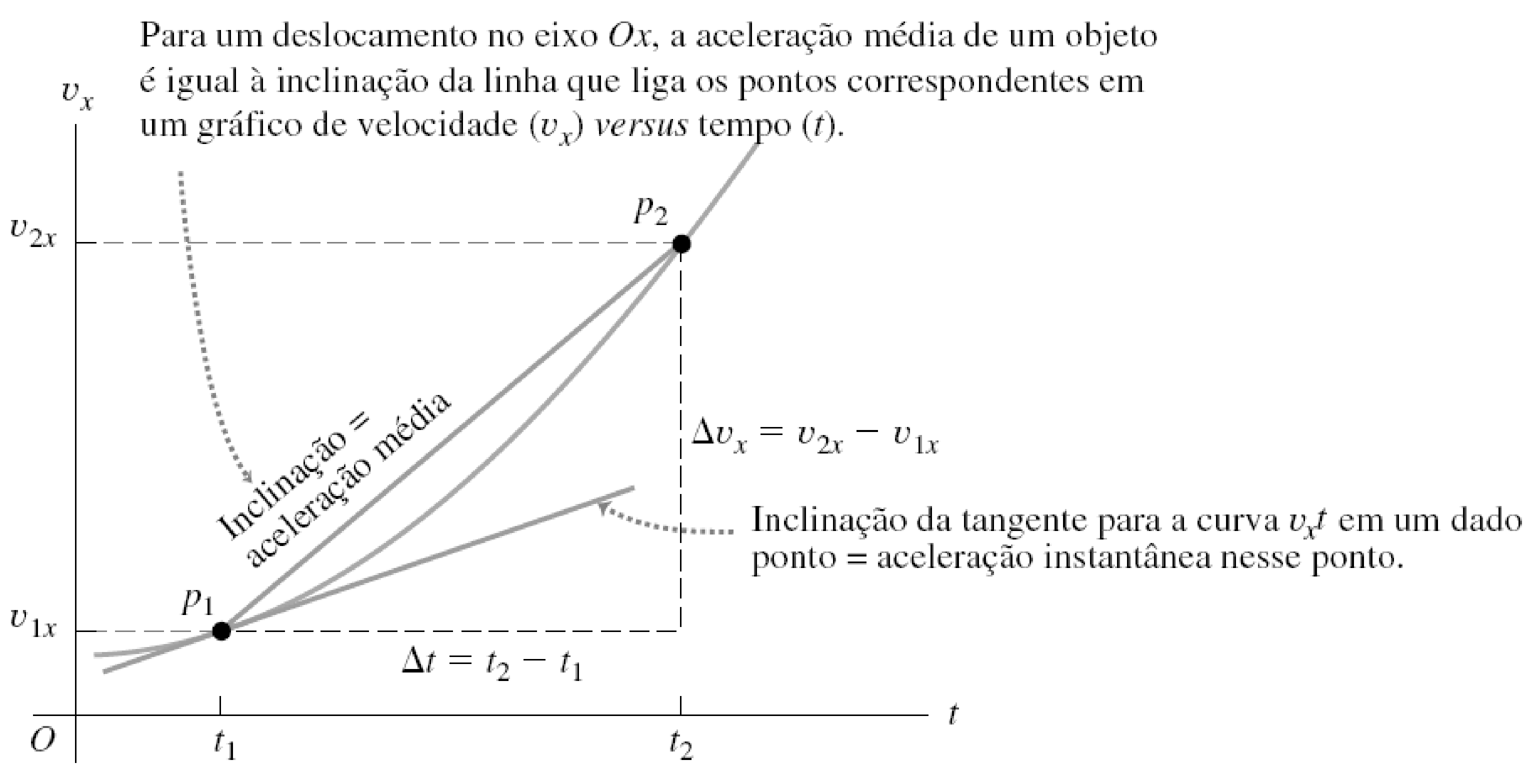


Figura 2.12 Gráfico $v_x t$ do movimento indicado na Figura 2.11.

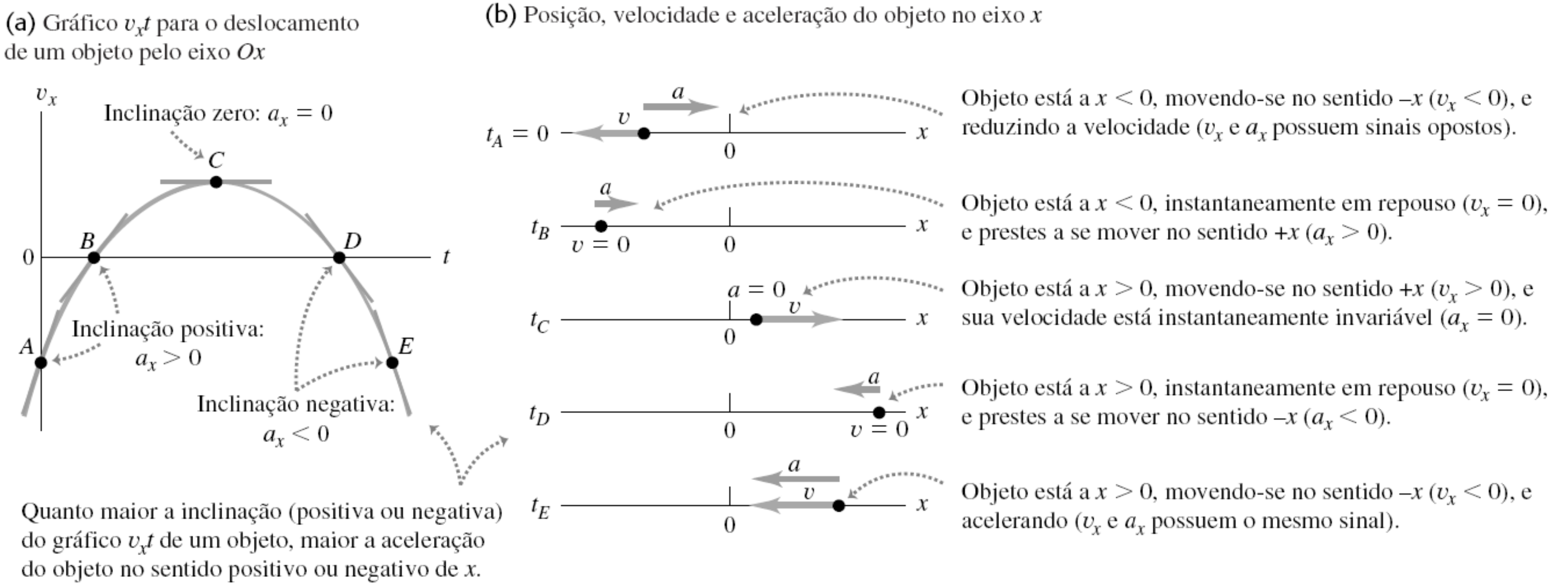


Figura 2.13 (a) Gráfico $v_x t$ do movimento de uma partícula diferente daquela mostrada na Figura 2.8. A inclinação da tangente em qualquer ponto é igual à aceleração do ponto considerado. (b) Diagrama do movimento mostrando a posição, a velocidade e a aceleração da partícula em cada um dos instantes indicados no gráfico $v_x t$. As posições estão de acordo com o gráfico $v_x t$; por exemplo, de t_A a t_B a velocidade é negativa, de modo que em t_B a partícula possui um valor de x mais negativo do que em t_A.

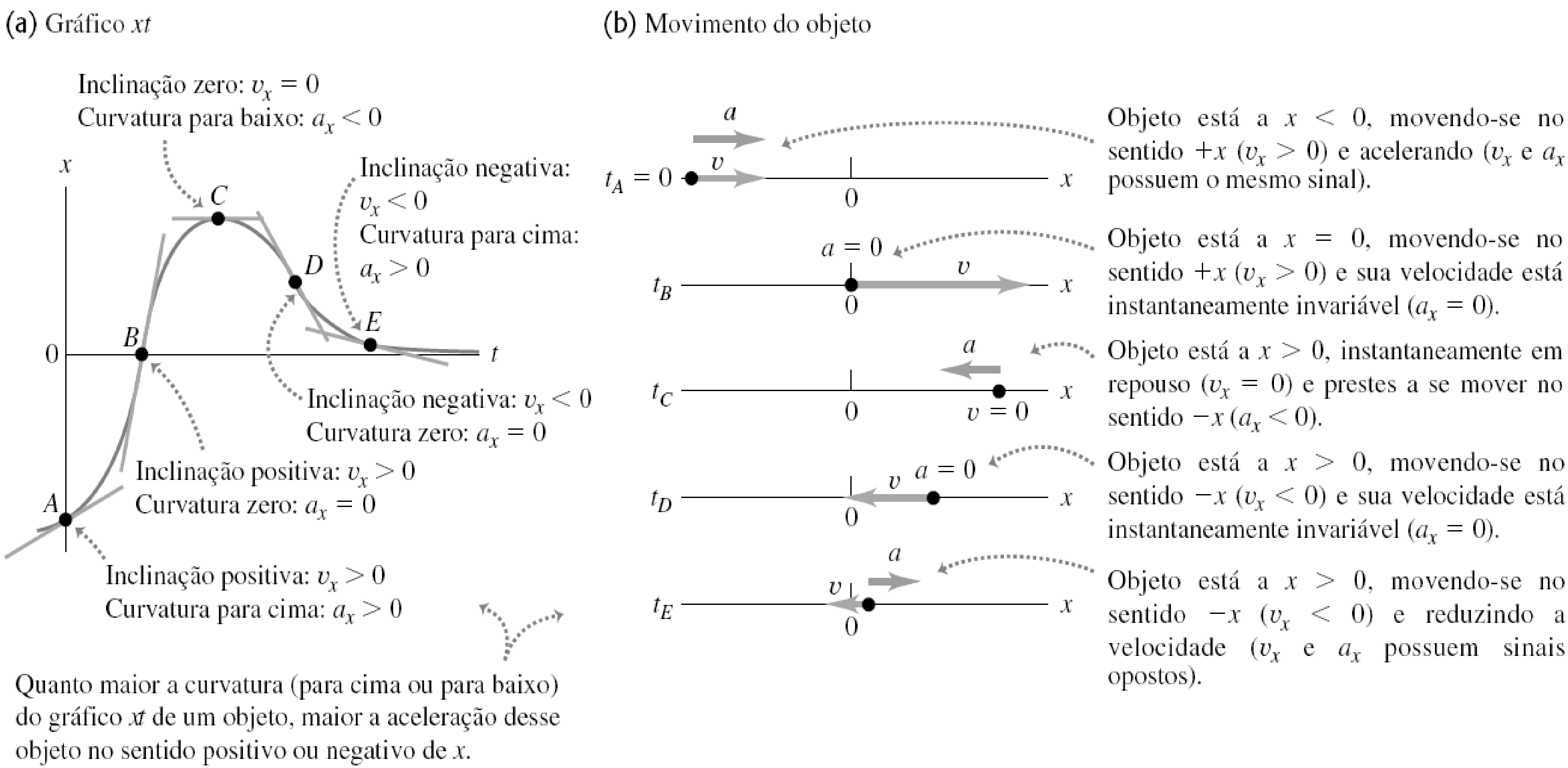


Figura 2.14 a) O mesmo gráfico *xt* indicado na Figura 2.8a. A velocidade é igual à inclinação do gráfico, e a aceleração é dada pela *concavidade* ou *curvatura* do gráfico. b) Diagrama do movimento mostrando a posição, a velocidade e a aceleração da partícula em cada um dos instantes indicados no gráfico *xt*.

Movimento retilíneo com aceleração constante: quando a aceleração é constante, quatro equações relacionam a posição x e a velocidade v_x, em qualquer instante t, à posição inicial x_0, à velocidade inicial v_{0x} (ambas medidas no instante $t = 0$) e à aceleração a_x.

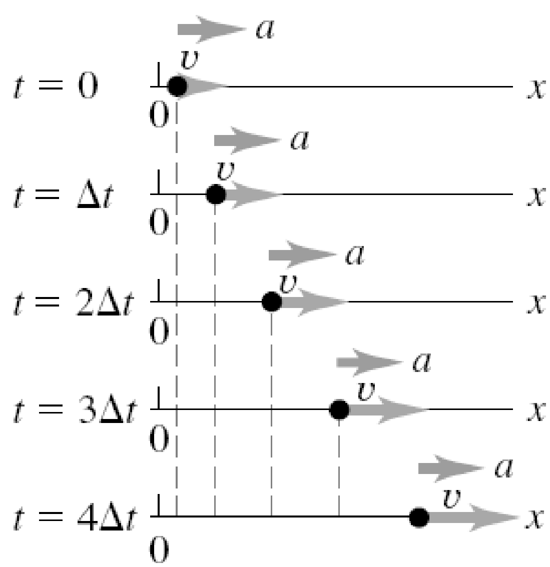
Aceleração constante somente:

$$v_x = v_{0x} + a_x t \tag{2.8}$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \tag{2.12}$$

$$v_x^2 = v_{0x}^2 + 2a_x(x - x_0) \tag{2.13}$$

$$x - x_0 = \left(\frac{v_{0x} + v_x}{2}\right)t \tag{2.14}$$



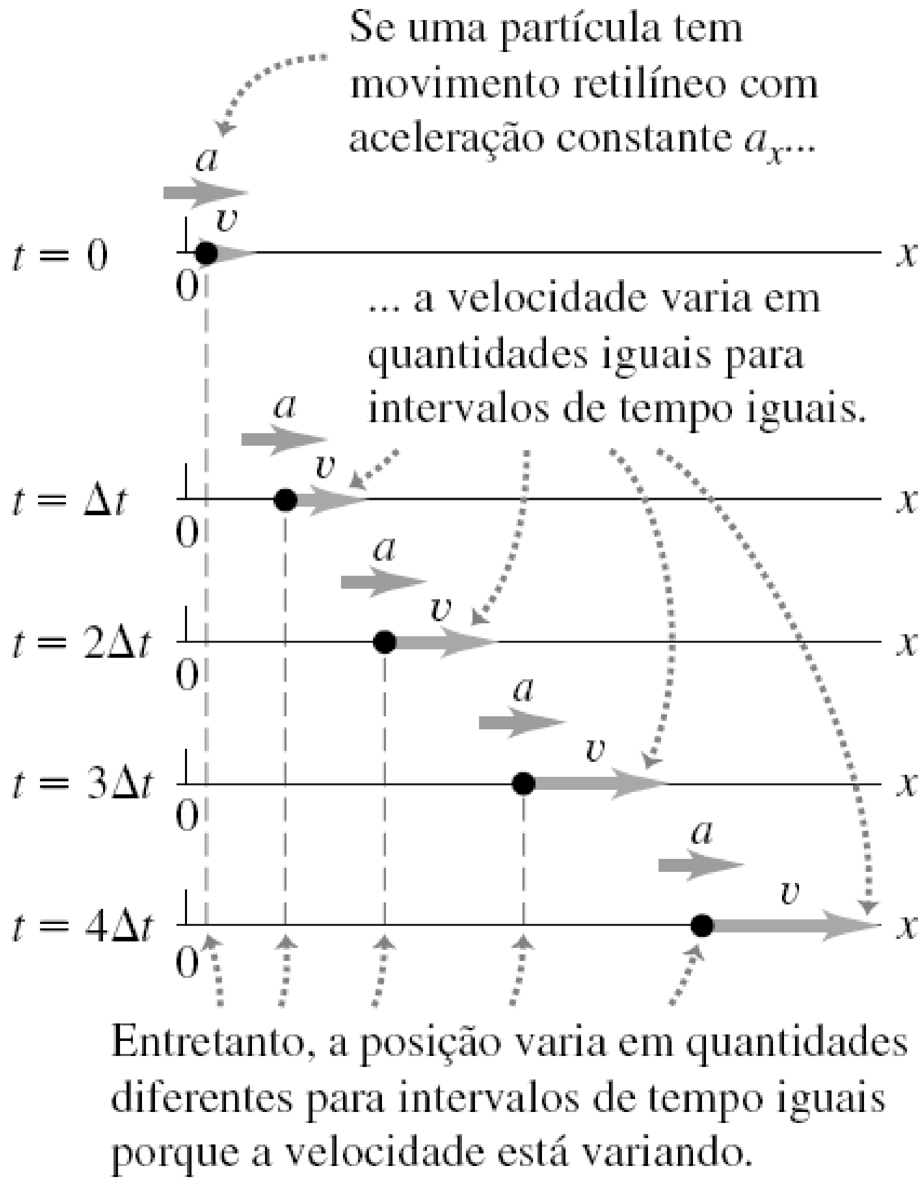


Figura 2.15 Diagrama do movimento para uma partícula que se move em linha reta na direção positiva de x com aceleração constante positiva a. A posição, a velocidade e a aceleração são indicadas em cinco intervalos de tempo iguais.

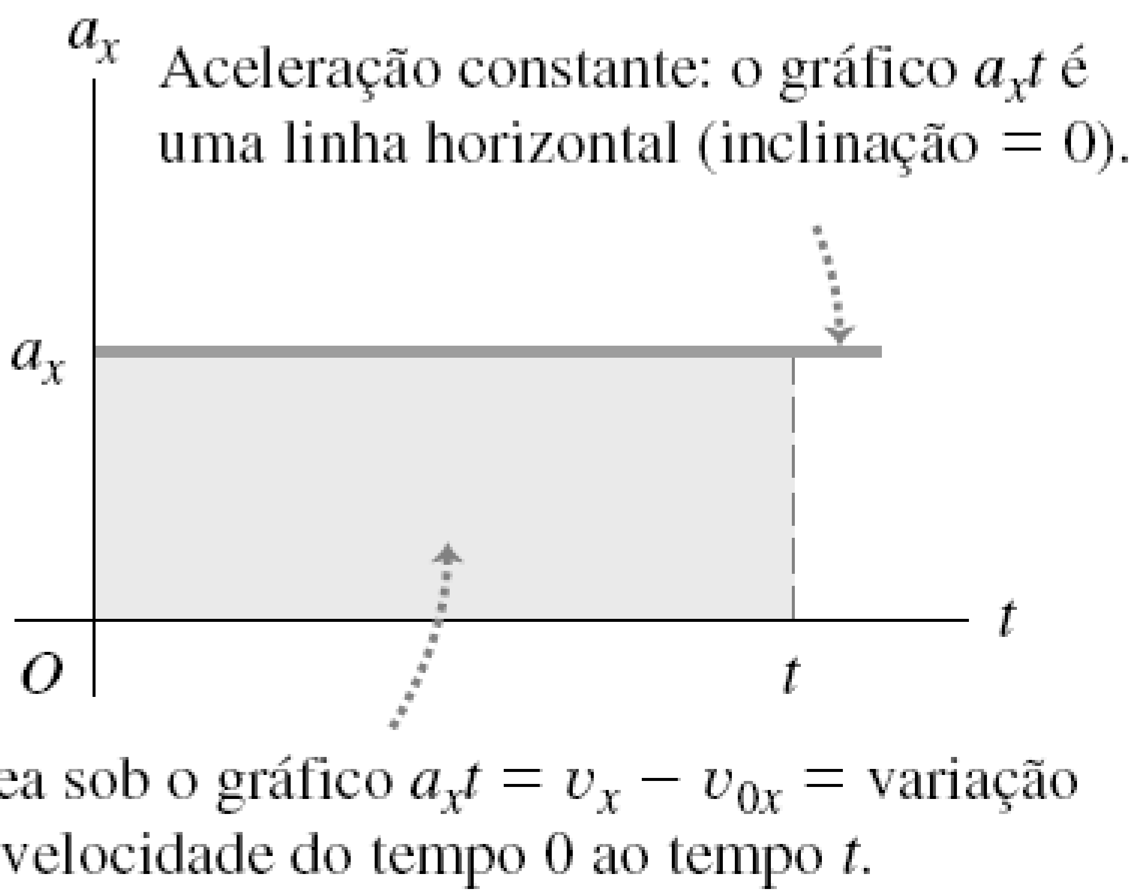


Figura 2.16 Gráfico da aceleração *versus* tempo (at) para uma partícula que se move em linha reta com aceleração constante positiva a_x.

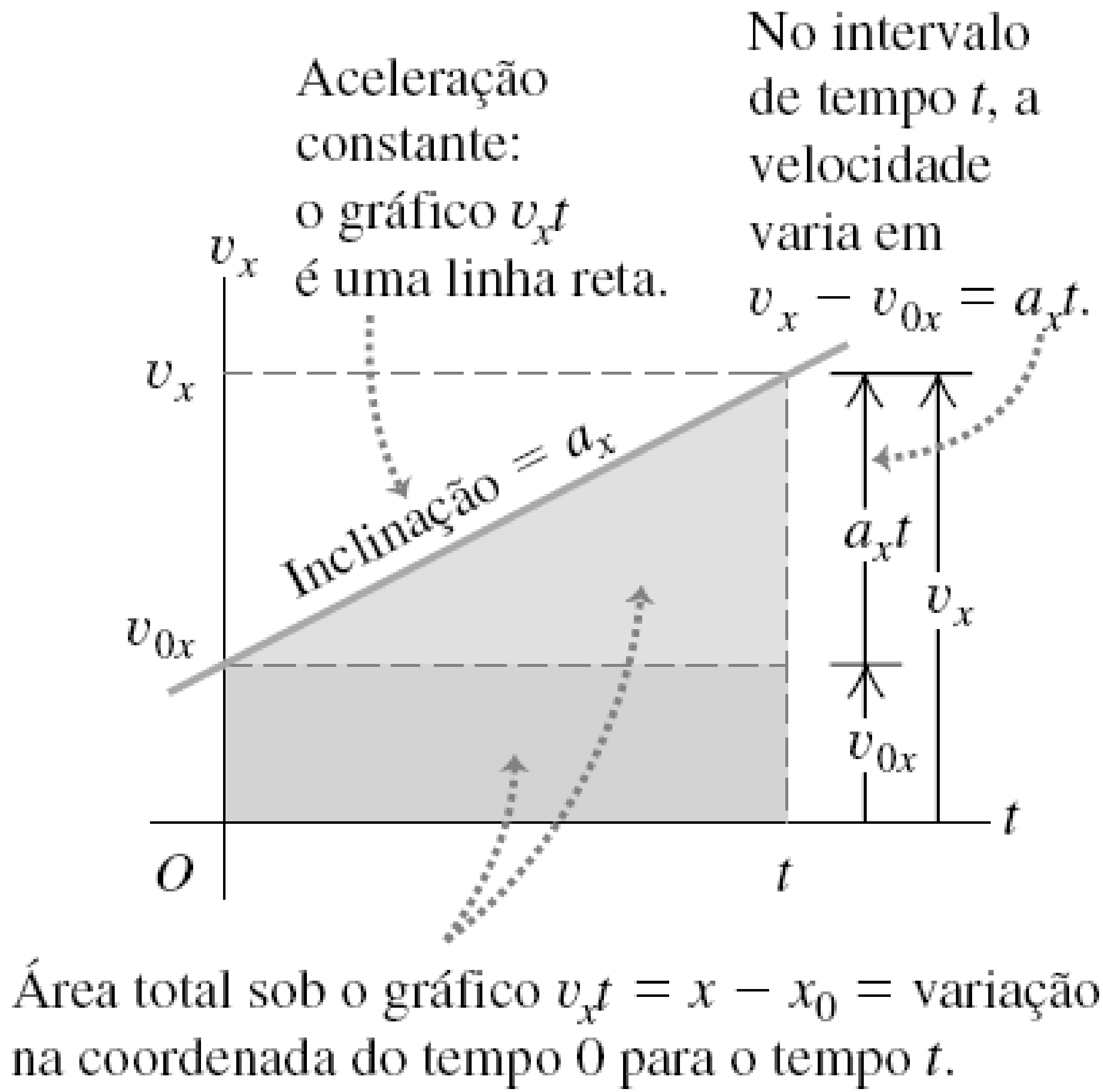


Figura 2.17 Gráfico da velocidade *versus* tempo (v_xt) para uma partícula que se move em linha reta com aceleração constante positiva a_x. A velocidade inicial v_{0x} também é positiva neste caso.

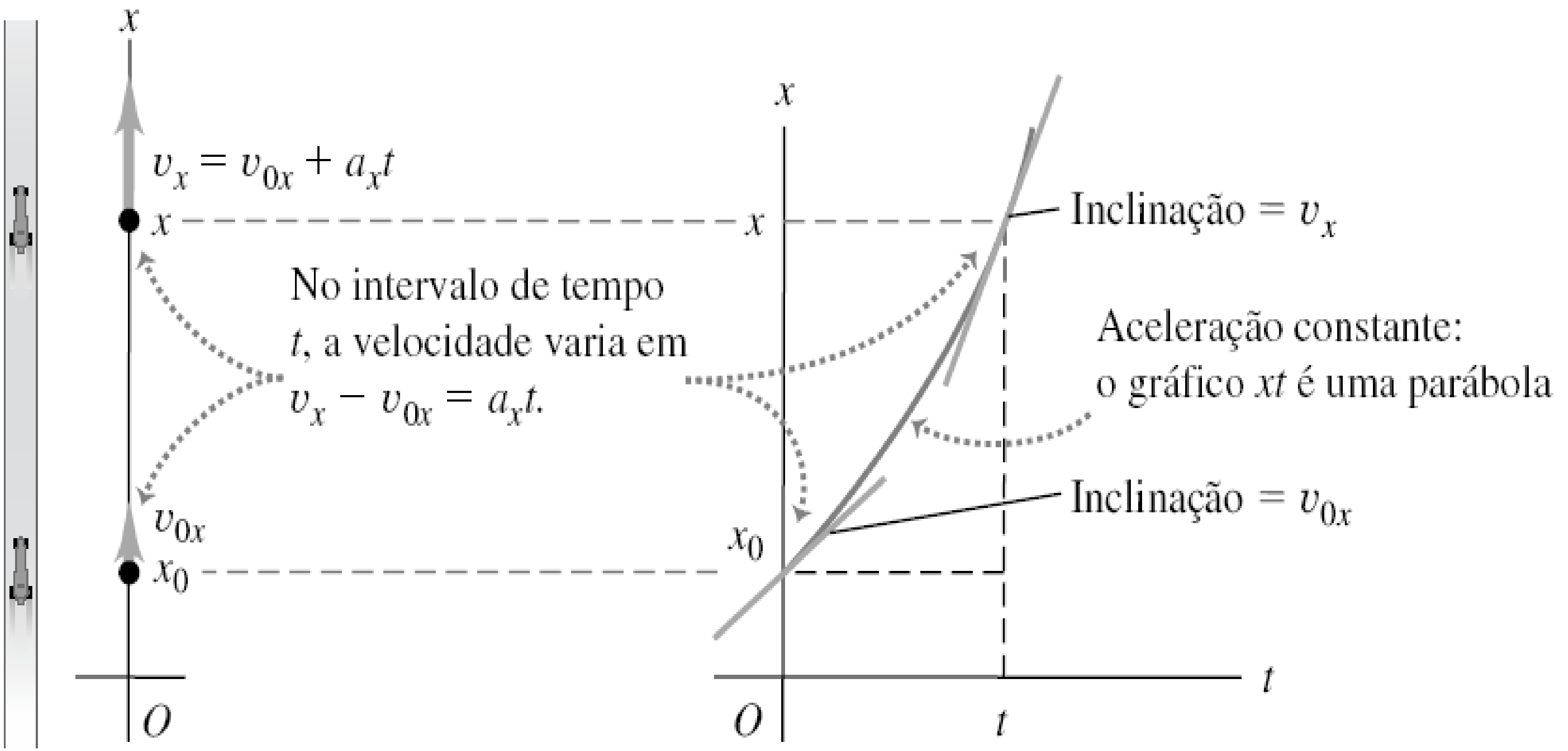
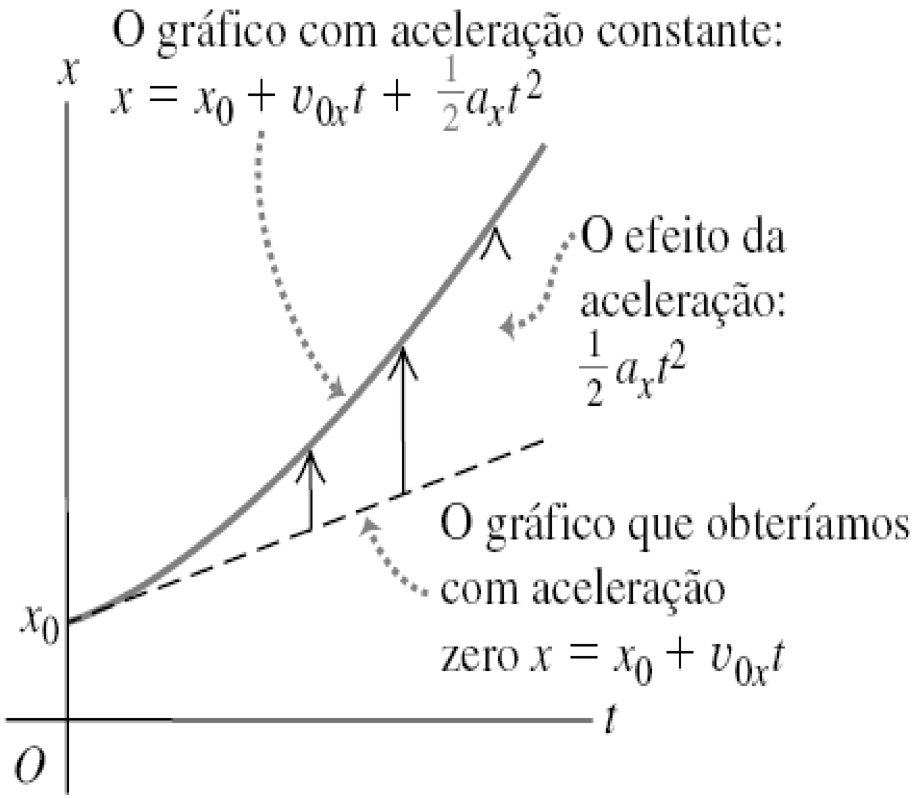


Figura 2.18 a) Movimento em linha reta com aceleração constante. b) Gráfico de posição *versus* tempo (*xt*) para esse movimento (o mesmo que o mostrado nas figuras 2.15, 2.16 e 2.17). Para esse movimento, a posição inicial x_0, a velocidade inicial v_{0x} e a aceleração a_x são todas positivas.

(a) Um gráfico xt para um objeto que se move a uma aceleração constante positiva



(b) O gráfico $v_x t$ para o mesmo objeto

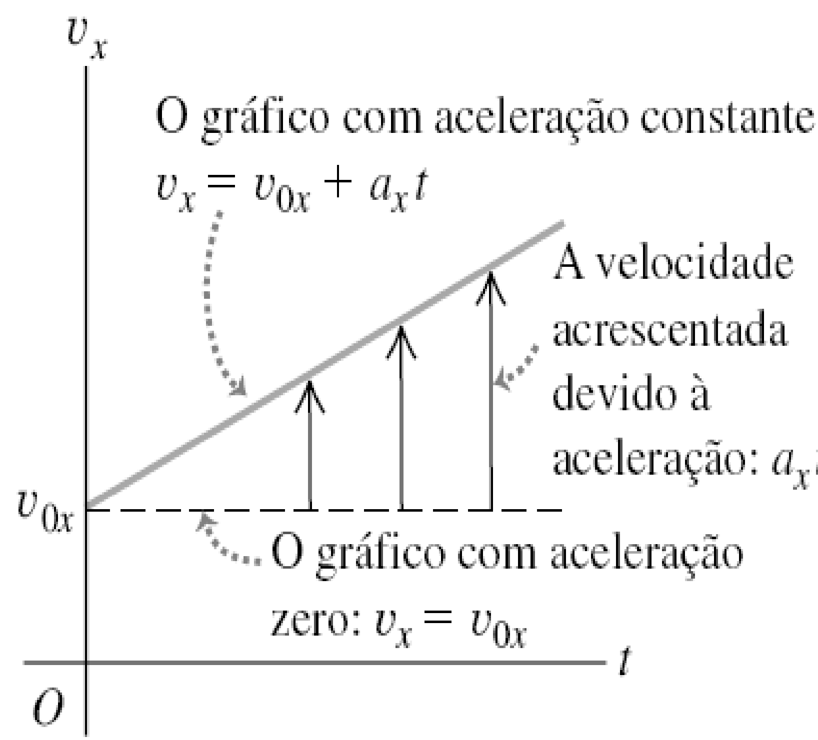


Figura 2.19 como uma aceleração constante afeta a) o gráfico xt e b) o gráfico $v_x t$ de um corpo.

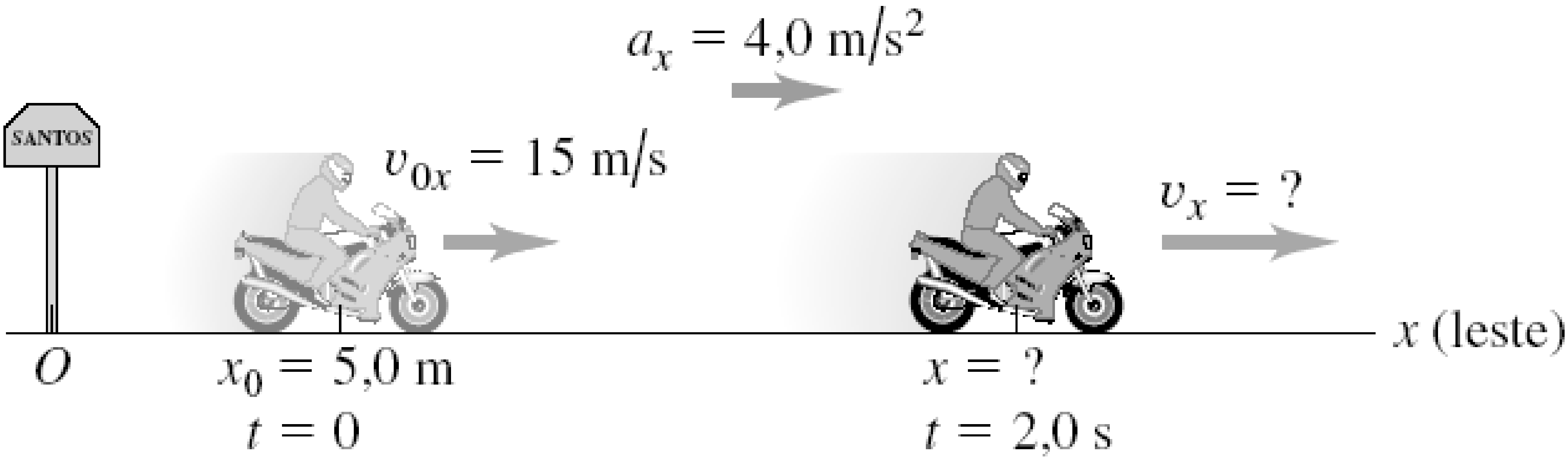


Figura 2.20 Motociclista deslocando-se com aceleração constante.

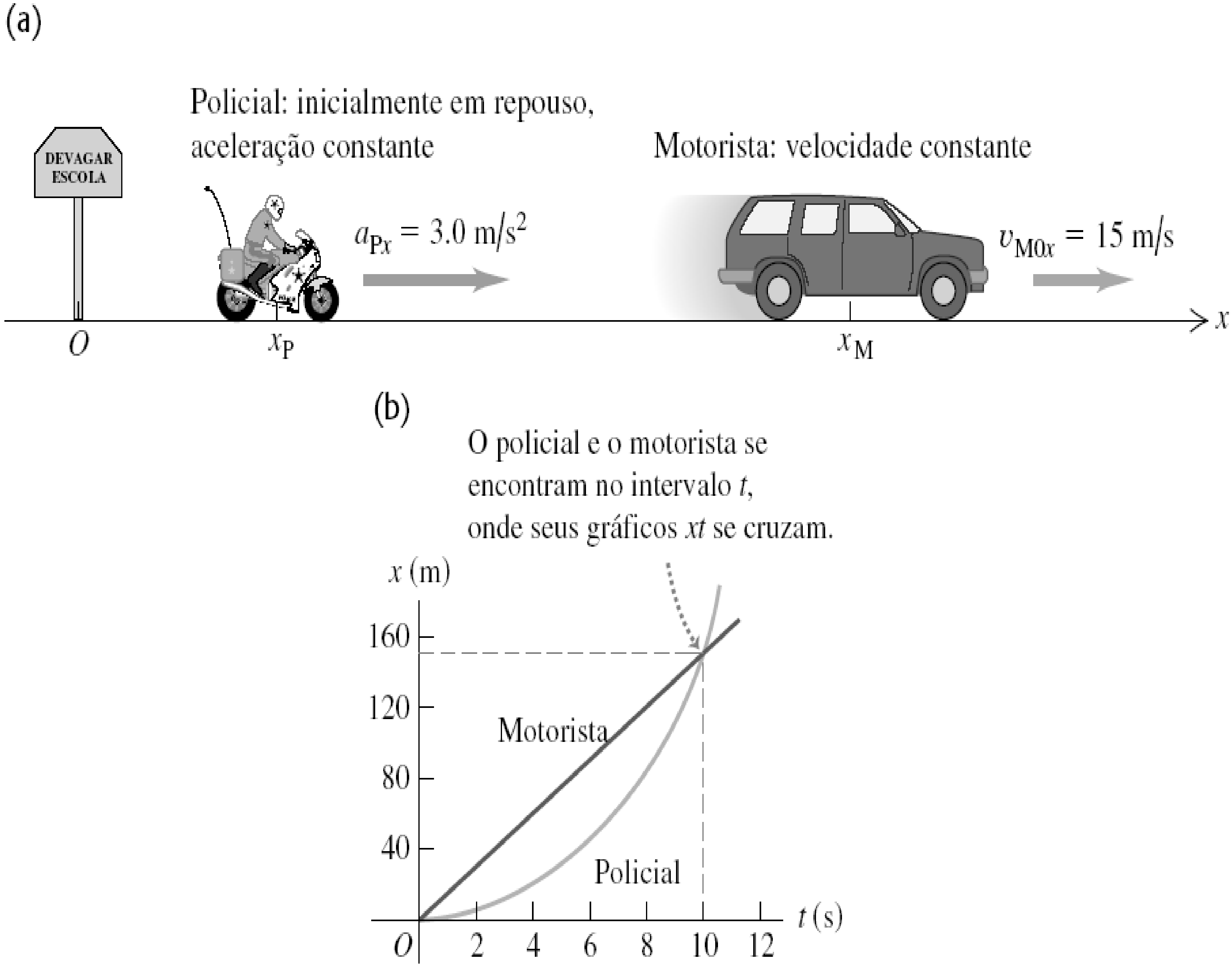
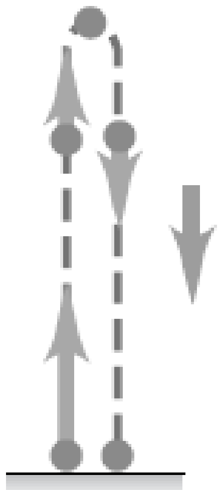


Figura 2.21 (a) Movimento com aceleração constante concomitante a um movimento com velocidade constante. (b) Gráfico de x em função de t para cada veículo.

Corpos em queda livre: a queda livre é um caso particular de movimento com aceleração constante. O módulo da aceleração da gravidade é uma grandeza positiva, g. A aceleração de um corpo em queda livre é sempre orientada de cima para baixo.



$$a_y = -g = -9{,}80 \text{ m/s}^2$$

Figura 2.22 Fotografia de múltipla *exposição* de uma bola em queda livre.

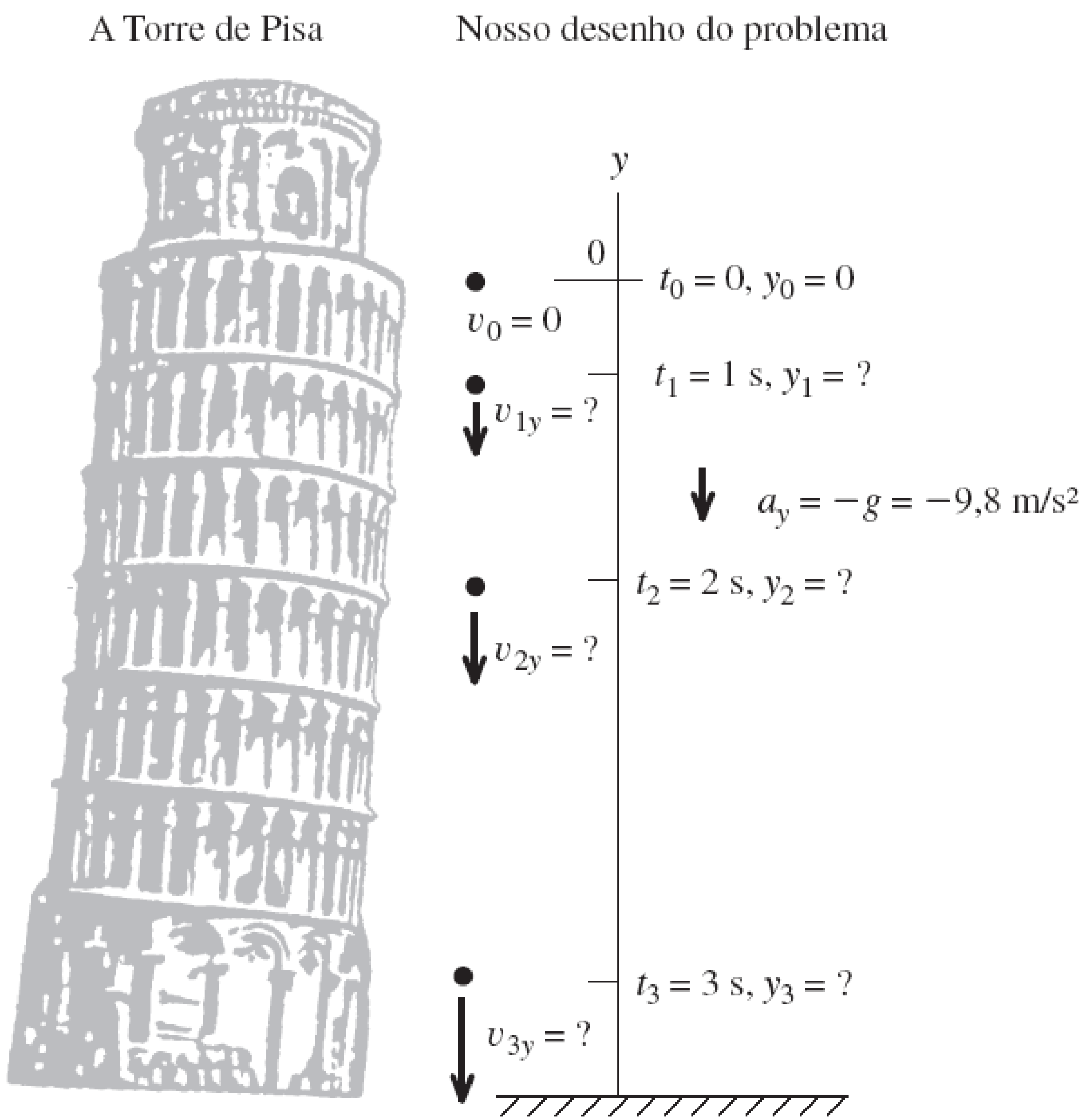


Figura 2.23 Uma moeda em queda livre a partir do repouso.

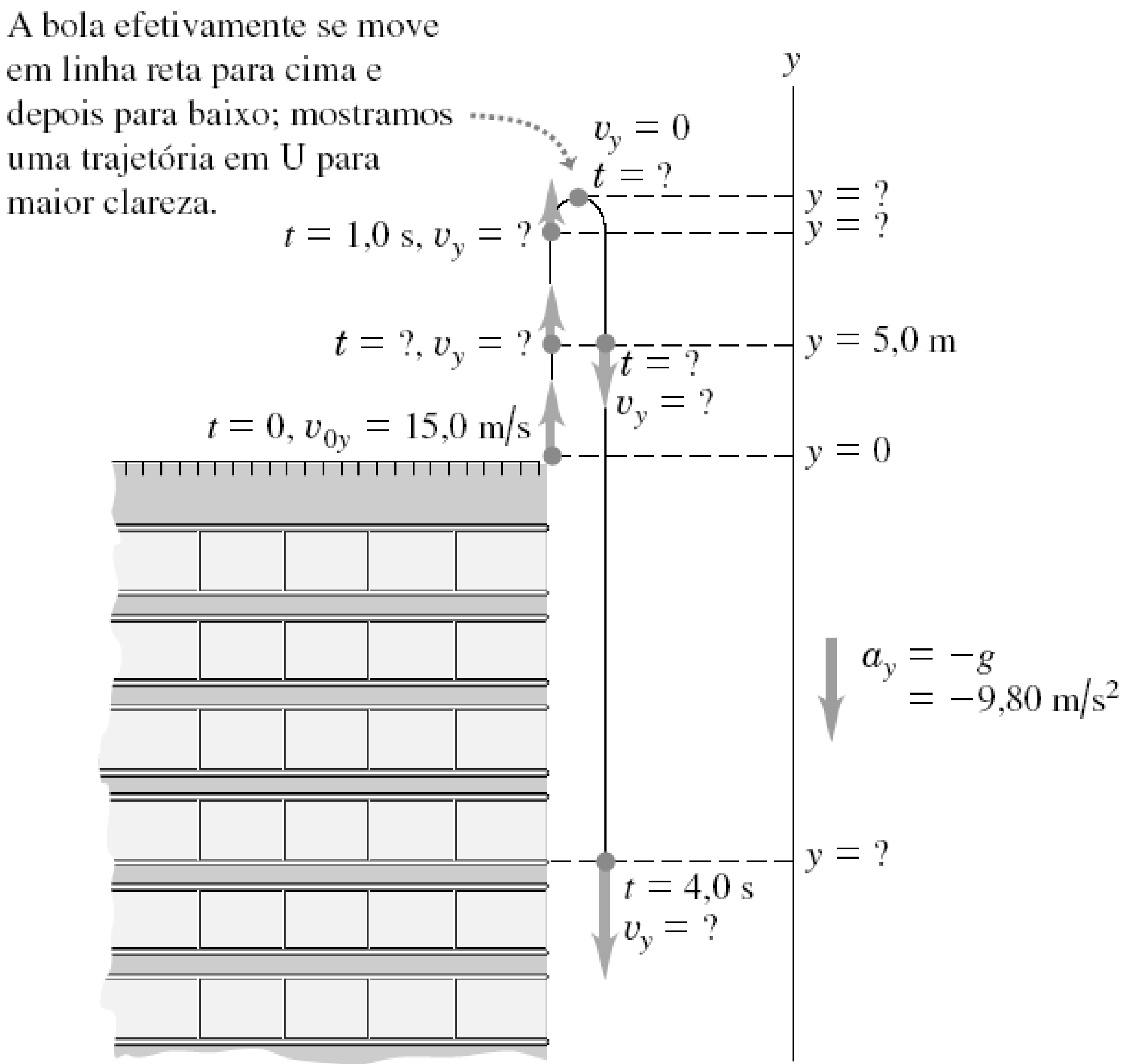


Figura 2.24 Posição e velocidade de uma bola lançada verticalmente de baixo para cima.

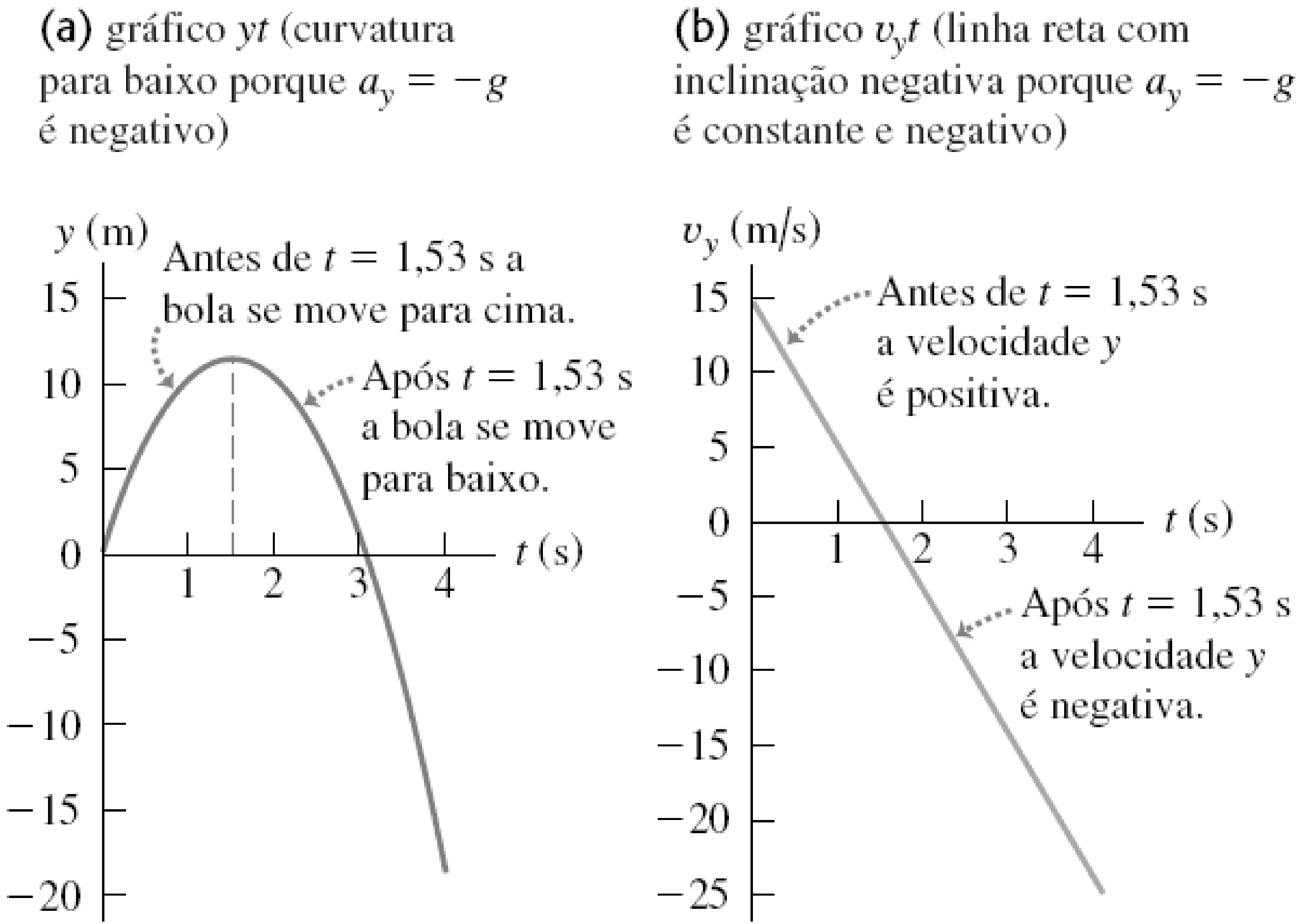


Figura 2.25 a) Posição e b) velocidade em função do tempo para uma bola lançada verticalmente de baixo para cima com velocidade inicial de 15 m/s.

Movimento retilíneo com aceleração variada: quando a aceleração não é constante, mas é conhecida em função do tempo, podemos determinar a velocidade e a posição em função do tempo, integrando a função aceleração.

$$v_x = v_{0x} + \int_0^t a_x \, dt \tag{2.17}$$

$$x = x_0 + \int_0^t v_x \, dt \tag{2.18}$$

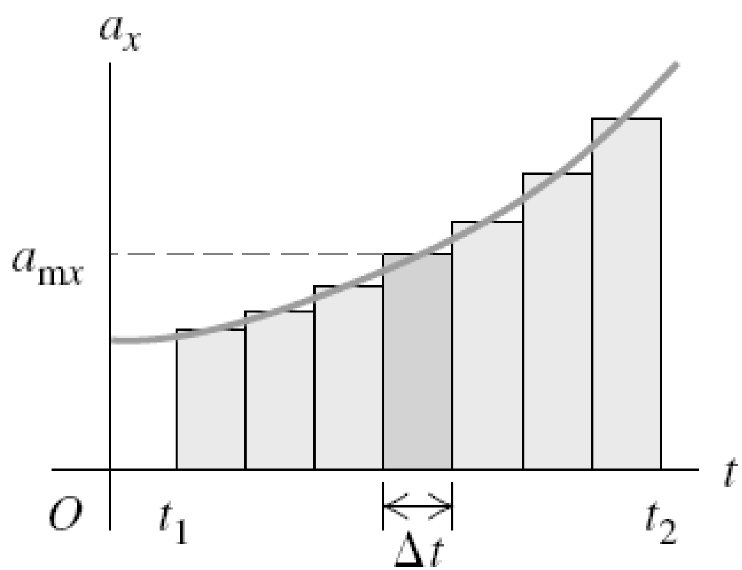


Figura 2.26 Quando você pisa até o fundo no pedal do acelerador do seu carro, a aceleração resultante *não* é constante: quanto maior a velocidade do carro, mais lentamente ele ganha velocidade adicional. Para um carro comum, o tempo para acelerar de 50 km/h a 100 km/h é igual ao dobro do tempo necessário para acelerar de 0 a 50 km/h.

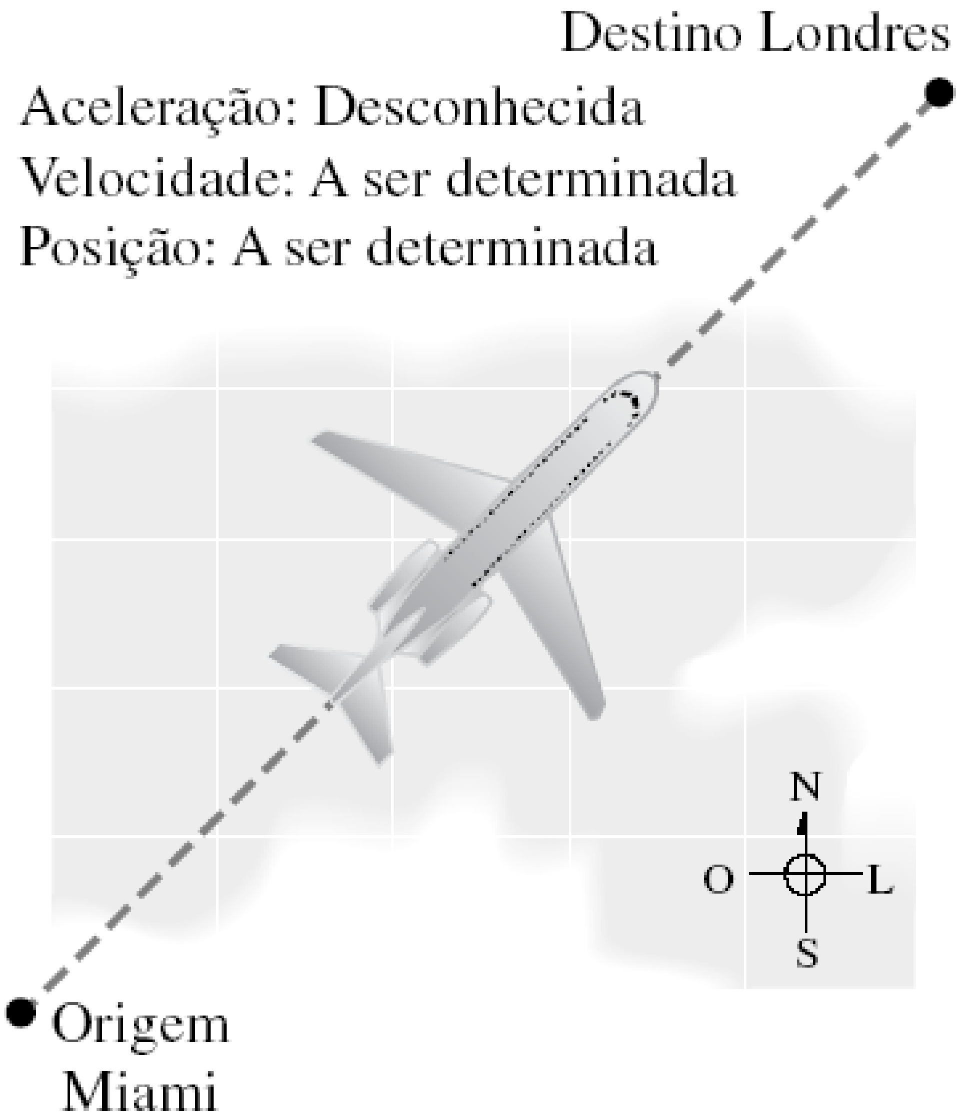


Figura 2.27 A posição e a velocidade de uma aeronave atravessando o Atlântico são obtidas integrando-se sua aceleração em relação ao tempo.

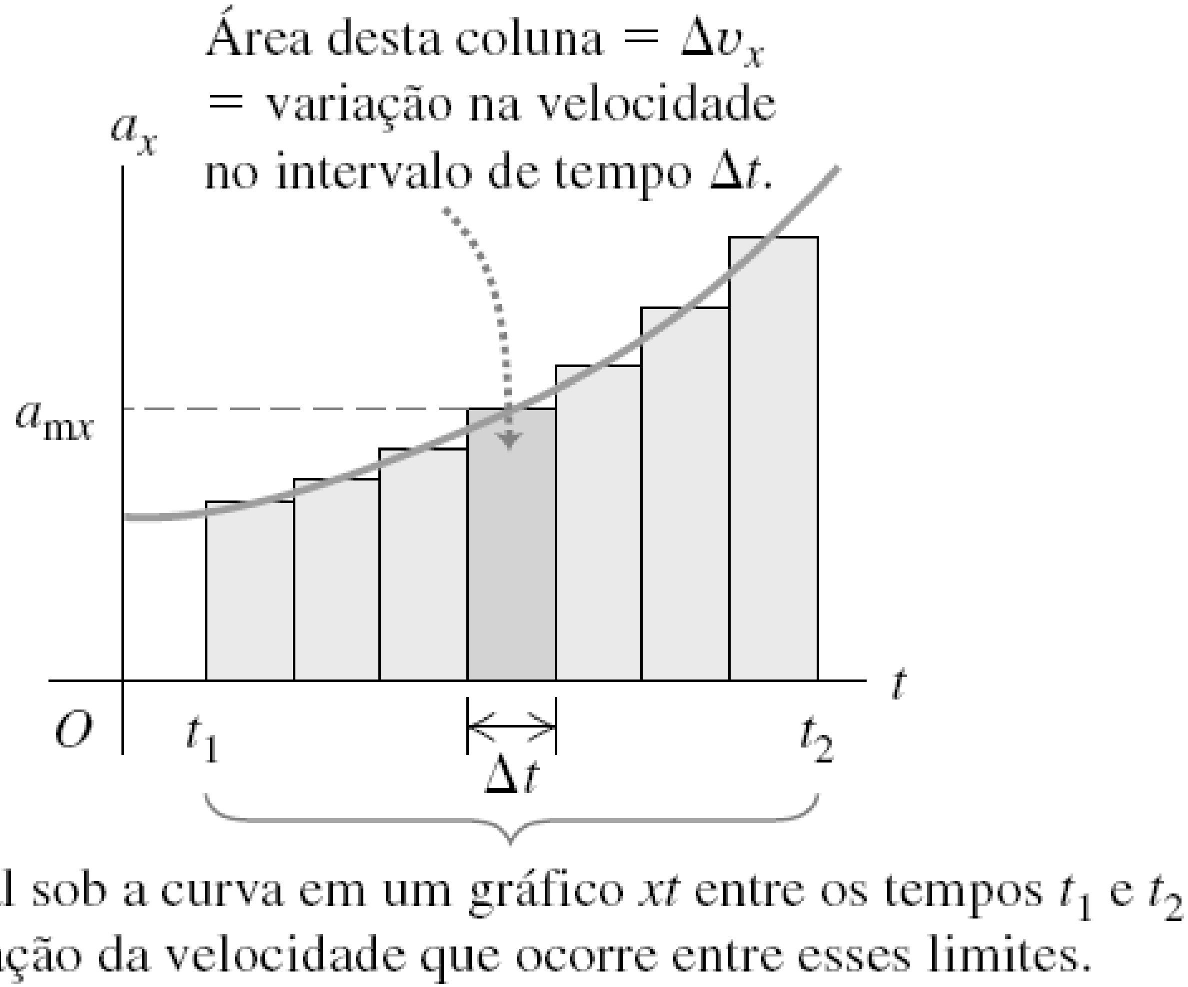


Figura 2.28 Um gráfico a_{xt} para um corpo cuja aceleração t não é constante.

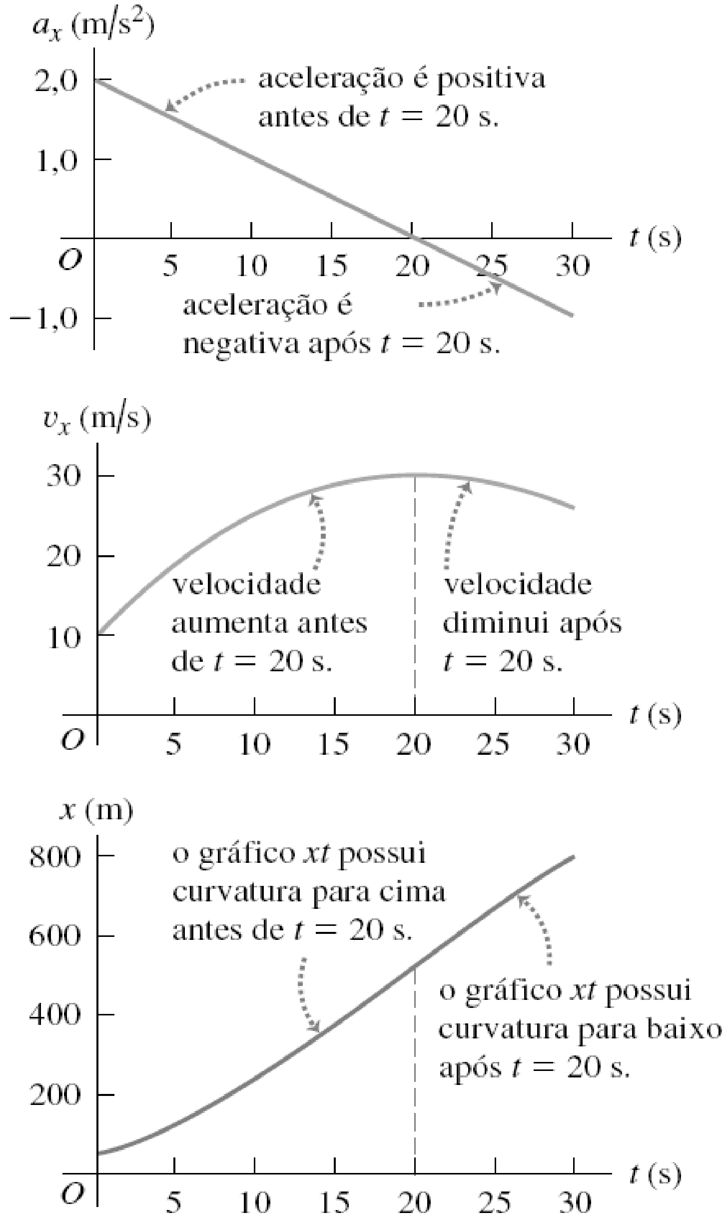


Figura 2.29 A posição, a velocidade e a aceleração do carro do Exemplo 2.9 em função do tempo. Você é capaz de mostrar que, se esse movimento continuasse, o carro pararia no instante t = 44,5 s?