

FÍSICA I

Prof. Dr. Patricio R. Impinnisi

Aula 3: Movimento Retilíneo

Posição, Deslocamento e Velocidade Média

INTRODUÇÃO

Objetos e partículas (na mesma direção com a mesma velocidade)

Cinemática (classificação e comparação dos movimentos)

1. Vamos considerar somente movimentos retilíneos
2. Vamos discutir o movimento sem nos importar com suas causas
3. Vamos supor que os objetos são partículas

Para estudar o movimento precisamos de um **sistema de referência...**

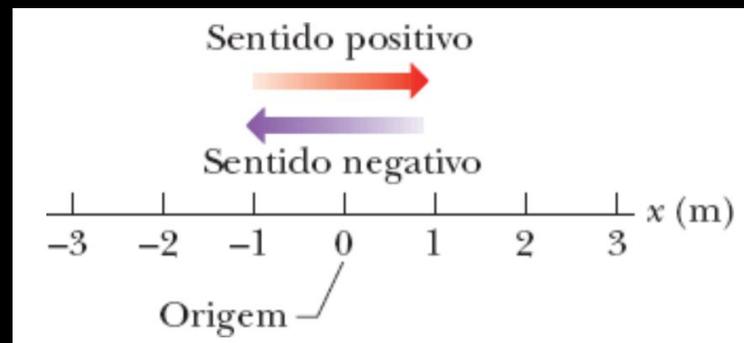
SISTEMA DE REFERÊNCIA

- A posição é medida em relação a um **ponto de referência**

A origem de coordenadas, ou ponto zero

- A **posição tem sinal**

- **Positivo** no sentido em que as coordenadas aumentam
- **Negativo** no sentido em que as coordenadas diminuem
- Uma variação de **posição** é chamada de **deslocamento**



$$\vec{\Delta x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1$$

Exemplos:

- De $x = 5 \text{ m}$ a $x = 12 \text{ m}$: $\Delta x = 7 \text{ m}$ (sentido positivo)
- De $x = 5 \text{ m}$ a $x = 1 \text{ m}$: $\Delta x = -4 \text{ m}$ (sentido negativo)
- De $x = 5 \text{ m}$ a $x = 200 \text{ m}$ a $x = 5 \text{ m}$: $\Delta x = 0 \text{ m}$
- A distância total percorrida é irrelevante

DESLOCAMENTO

- O **deslocamento** é uma **grandeza vetorial** (assim como a posição)
Sentido: dado pelo sinal algébrico (+ ou -)
Módulo: dado pelo seu comprimento



Teste 1

Considere três pares de posições iniciais e finais ao longo do eixo x : (a) -3 m, $+5$ m; (b) -3 m, -7 m; (c) 7 m, -3 m. Quais desses pares correspondem a deslocamentos negativos?

VELOCIDADE MÉDIA

- **Velocidade média**

É a razão entre um deslocamento $\overrightarrow{\Delta x}$ e o intervalo de tempo Δt no qual o deslocamento aconteceu

$$\vec{v}_{méd} = \frac{\overrightarrow{\Delta x}}{\Delta t} = \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{t_2 - t_1}$$

Sua unidade no sistema SI é m/s (distância / tempo)

Vejamos sua interpretação gráfica:

VELOCIDADE MÉDIA

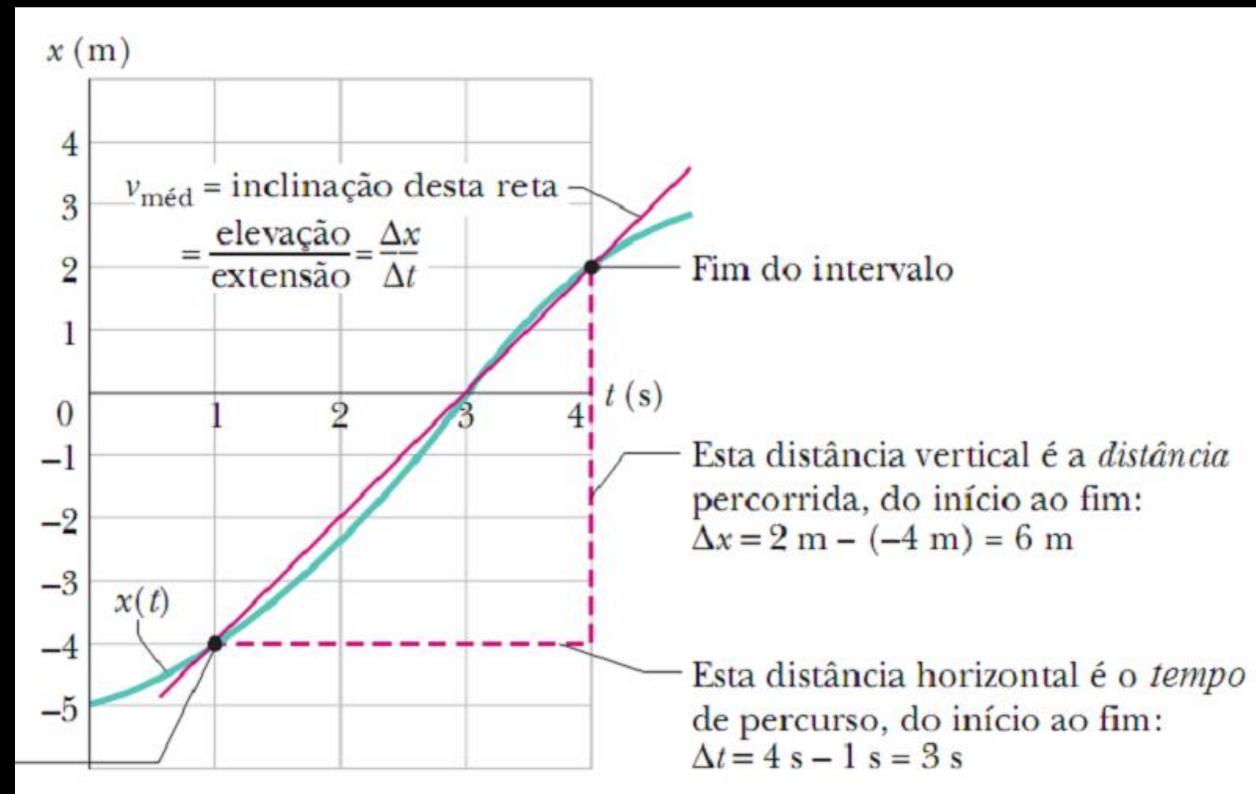
- **Velocidade média**

Num gráfico da posição vs tempo, a velocidade média é a **inclinação da reta** que liga dois pontos

É uma **grandeza vetorial** portanto:

Inclinação positiva significa
velocidade média positiva

Inclinação negativa significa
velocidade média negativa



VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

- **Velocidade escalar média $s_{méd}$**

é a **razão** entre a distância L percorrida (que é um **escalar sempre positivo**) e o intervalo de tempo Δt no qual a distância foi coberta

Portanto $s_{méd}$ é uma **grandeza escalar** e é sempre **positiva**

$$s_{méd} = \frac{L}{\Delta t} = \frac{L}{t_2 - t_1}$$

Exemplo Uma partícula se move do ponto $x = 3$ m ao ponto $x = -3$ m em 2 segundos.

- Velocidade média: = -3 m/s; velocidade escalar média: 3 m/s

VELOCIDADE INSTANTÂNEA

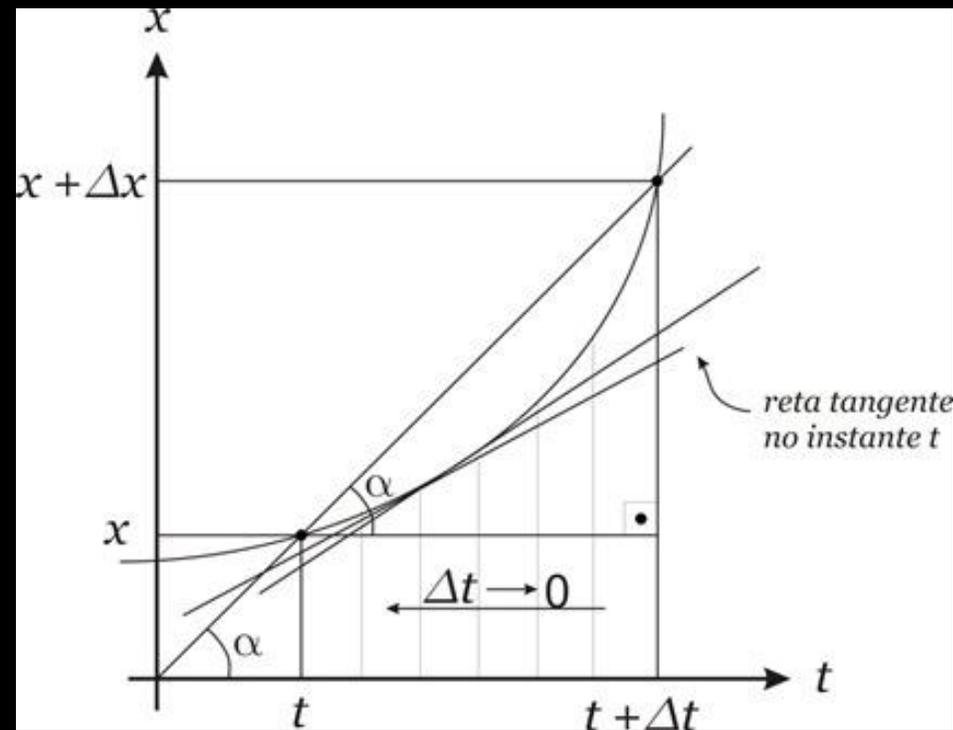
- **Velocidade instantânea \vec{v} (ou simplesmente velocidade)**

É o limite da razão entre o deslocamento $\overrightarrow{\Delta x}$ e o intervalo de tempo Δt (no qual o deslocamento aconteceu) quando $\Delta t \rightarrow 0$

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overrightarrow{\Delta x}}{\Delta t} = \frac{d\vec{x}}{dt}$$

é a **inclinação da curva** num dado ponto

A **velocidade escalar** (que é o limite para $\Delta t \rightarrow 0$ da velocidade escalar média) **é o módulo da velocidade** “instantânea”



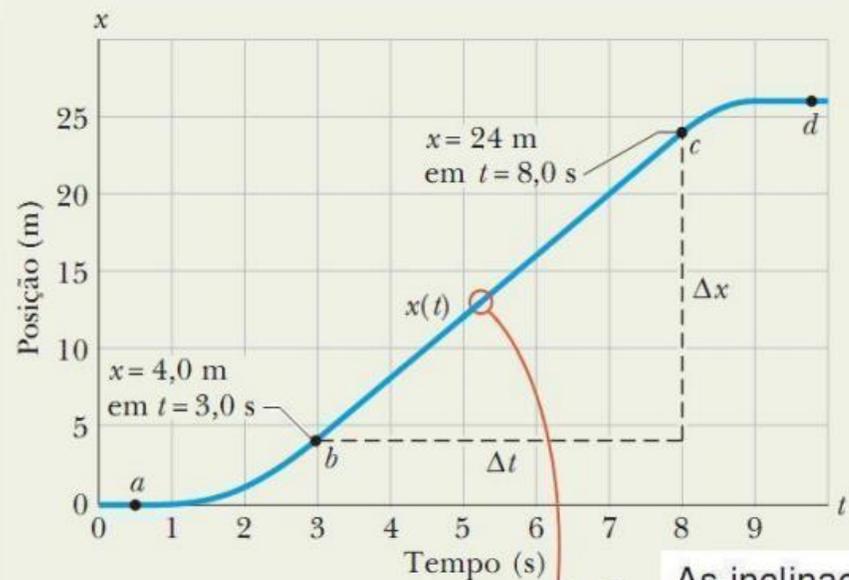
VELOCIDADE INSTANTÂNEA



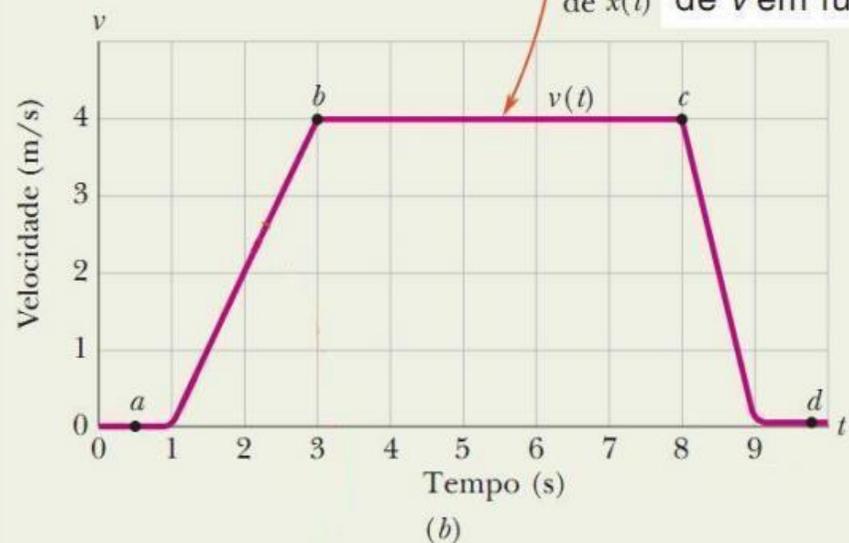
Teste 2

As equações a seguir fornecem a posição $x(t)$ de uma partícula em quatro casos (em todas as equações, x está em metros, t está em segundos, e $t > 0$): (1) $x = 3t - 2$; (2) $x = -4t^2 - 2$; (3) $x = 2/t^2$; (4) $x = -2$. (a) Em que caso(s) a velocidade v da partícula é constante? (b) Em que caso(s) a velocidade v está orientada no sentido negativo do eixo x ?

EXEMPLO



As inclinações da curva de x em função de t são os valores da curva de v em função de t .



A figura representa a posição e a velocidade de um elevador em função do tempo

A **inclinação** de $x(t)$ (e portanto a velocidade) é zero entre 0 e 1 s e de 9 s em diante.

No intervalo bc a inclinação é constante e diferente de zero e neste caso corresponde a uma velocidade constante de 4 m/s

Vamos a seguir estudar os intervalos ab e cd (acelerados)

ACELERAÇÃO

- **Aceleração** é a variação de velocidade com o tempo
- A **aceleração média** num intervalo de tempo Δt é

$$\vec{a}_{méd} = \frac{\overline{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

- A **aceleração instantânea** (simplesmente aceleração) é a inclinação da curva de velocidade em função do tempo num dado instante

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overline{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{como } \vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt} \quad \text{temos} \quad \vec{a} = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2}$$

- Sobre a questão dos sinais e as unidades, vejamos um exemplo:

ACELERAÇÃO

Exemplo Se um carro com uma velocidade $v = -25 \text{ m/s}$ freia até parar em $5,0 \text{ s}$, $a = + 5,0 \text{ m/s}^2$. Aceleração é positiva, mas a velocidade diminui.

- Nota: a aceleração pode ser expressa em **unidades de g**

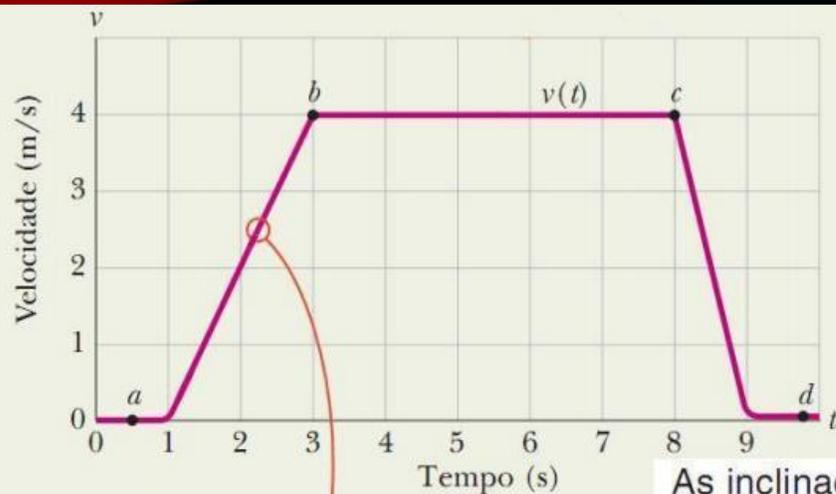
$$1g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad (\text{unidade de } g).$$



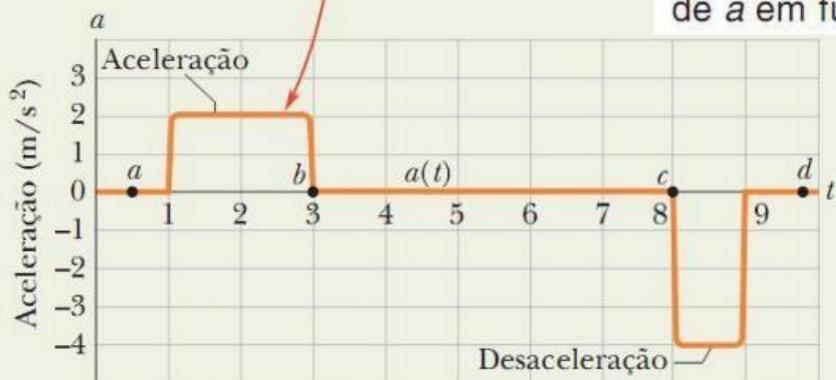
Teste 3

Um marsupial se move ao longo do eixo x . Qual é o sinal da aceleração do animal se ele está se movendo (a) no sentido positivo com velocidade escalar crescente; (b) no sentido positivo com velocidade escalar decrescente; (c) no sentido negativo com velocidade escalar crescente; (d) no sentido negativo com velocidade escalar decrescente?

ACELERAÇÃO



As inclinações da curva de v em função de t são os valores da curva de a em função de t .



O que você sentiria.

(c)

O gráfico mostra a velocidade e a aceleração de um elevador em função do tempo.

Quando a aceleração é zero (por exemplo, no intervalo bc) a velocidade é constante.

Quando a aceleração é positiva (ab) a velocidade aumenta.

Quando a aceleração é negativa (cd) a velocidade diminui.

Quanto maior a inclinação no gráfico velocidade vs tempo, maior o módulo da aceleração.

ACELERAÇÃO CONSTANTE

Em muitos casos, o movimento é com aceleração constante.

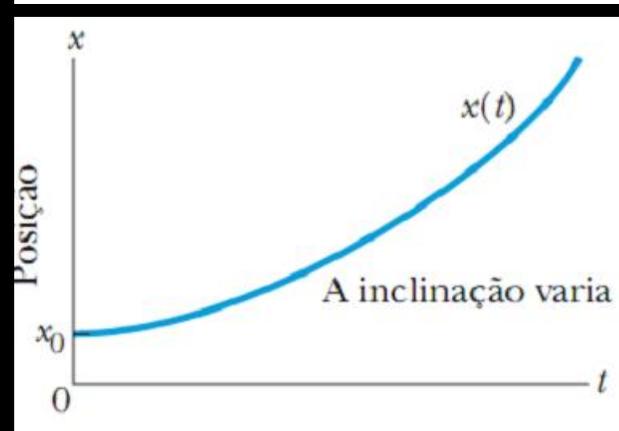
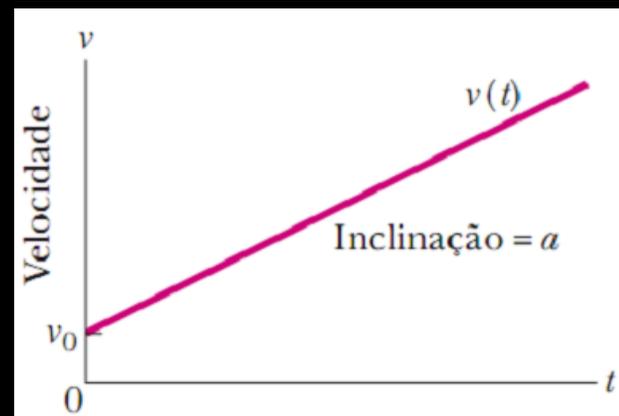
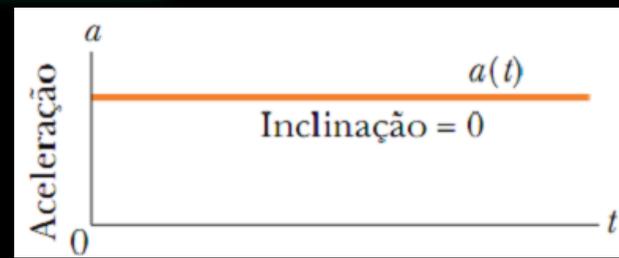
Neles, cinco equações especiais podem ser desenvolvidas e utilizadas.

Lembre que uma **aceleração constante..**

... significa uma velocidade com inclinação constante...

e uma posição com inclinação variável.

Vamos ver as equações deste movimento...



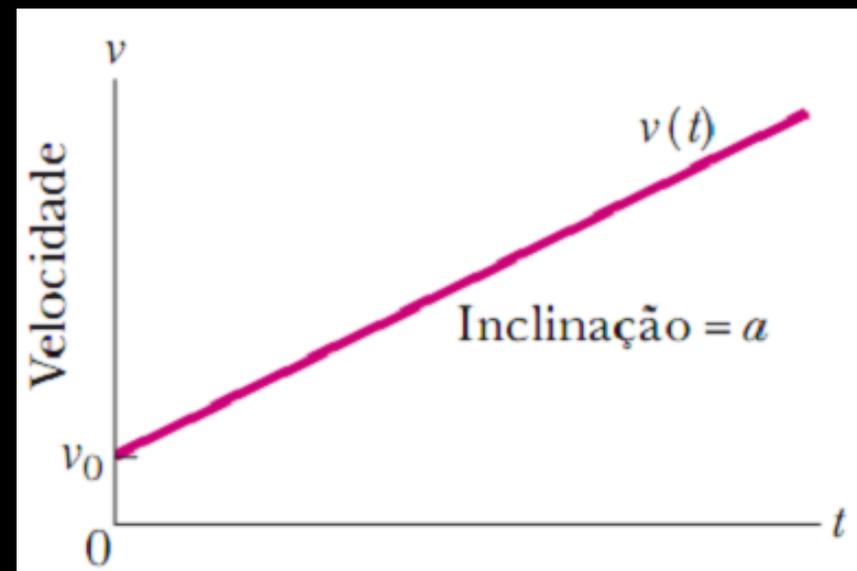
ACELERAÇÃO CONSTANTE

Quando a aceleração é constante, a aceleração média e a aceleração instantânea são iguais

$$|\vec{a}_{méd}| = a_{méd} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

de onde se obtém

$$v = v_0 + at$$



A derivada desta equação (pela própria definição do que é uma derivada) define a aceleração:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

ACELERAÇÃO CONSTANTE

Da mesma forma a partir da equação da velocidade média obtemos:

$$|\vec{v}_{méd}| = v_{méd} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} \quad \text{de onde se obtém} \quad x = x_0 + v_{méd}t$$

(considerando que $t_0 = 0$)

Por definição, a velocidade média também é: $v_{méd} = \frac{v_{inicial} + v_{final}}{2} = \frac{1}{2}(v_0 + v)$

Substituindo v nesta última equação por $v = v_0 + at$... $v_{méd} = v_0 + \frac{1}{2}at$

Substituindo $v_{méd}$ na equação $x = x_0 + v_{méd}t$ se obtém $x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2$

ACELERAÇÃO CONSTANTE

Outras combinações das equações apresentadas permitem obter o conjunto da cinco equações básicas deste movimento:

Tabela 2-1 Equações do Movimento com Aceleração Constante^a

Número da Equação	Equação	Grandeza que falta
2-11	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
2-15	$x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2$	v
2-16	$v_2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t
2-17	$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	a
2-18	$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$	v_0

^aCertifique-se de que a aceleração é constante antes de usar as equações desta tabela.



Teste 4

As equações a seguir fornecem a posição $x(t)$ de uma partícula em quatro casos: (1) $x = 3t - 4$; (2) $x = -5t^3 + 4t^2 + 6$; (3) $x = 2/t^2 - 4/t$; (4) $x = 5t^2 - 3$. Em que caso(s) as equações da Tabela 2-1 podem ser aplicadas?

QUEDA LIVRE

A **aceleração em queda livre** é a aceleração experimentada por um corpo que está sujeito apenas à **atração gravitacional**

- ✓ varia com a latitude e a altitude
- ✓ é de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$
- ✓ não depende das propriedades do objeto como massa, volume e a forma geométrica

Podemos aplicar as equações do movimento com aceleração constante?

Somente se **desconsideramos a resistência do ar** e se a queda for vertical



A aceleração em queda livre nas proximidades da superfície da Terra é $a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$, e o *módulo* da aceleração é $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Não substitua g por $-9,8 \text{ m/s}^2$ (mas sim por $9,8 \text{ m/s}^2$).

QUEDA LIVRE



Teste 5

(a) Se você arremessa uma bola verticalmente para cima, qual é o sinal do deslocamento da bola durante a subida, desde o ponto inicial até o ponto mais alto da trajetória? (b) Qual é o sinal do deslocamento durante a descida, desde o ponto mais alto da trajetória até o ponto inicial? (c) Qual é a aceleração da bola no ponto mais alto da trajetória?

ANÁLISE DO MOVIMENTO

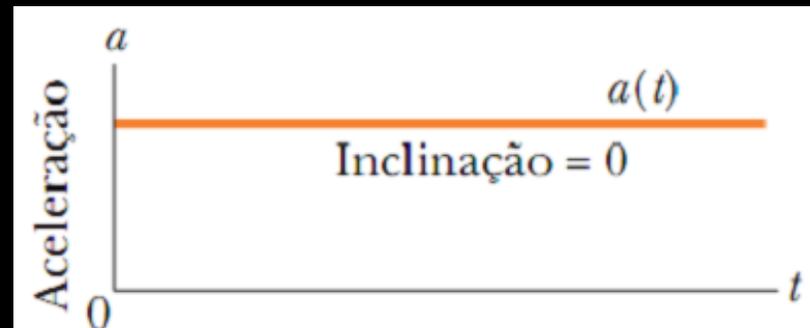
Integração da aceleração

Dado um gráfico da aceleração de um objeto em função do tempo, se pode integrar para calcular a velocidade

$$a = \frac{dv}{dt} \quad v_1 - v_0 = \int_{t_0}^{t_1} a dt$$

A integral definida do lado direito pode ser calculada a partir do gráfico

$$\int_{t_0}^{t_1} a dt = \text{área abaixo da curva de aceleração}$$



ANÁLISE DO MOVIMENTO

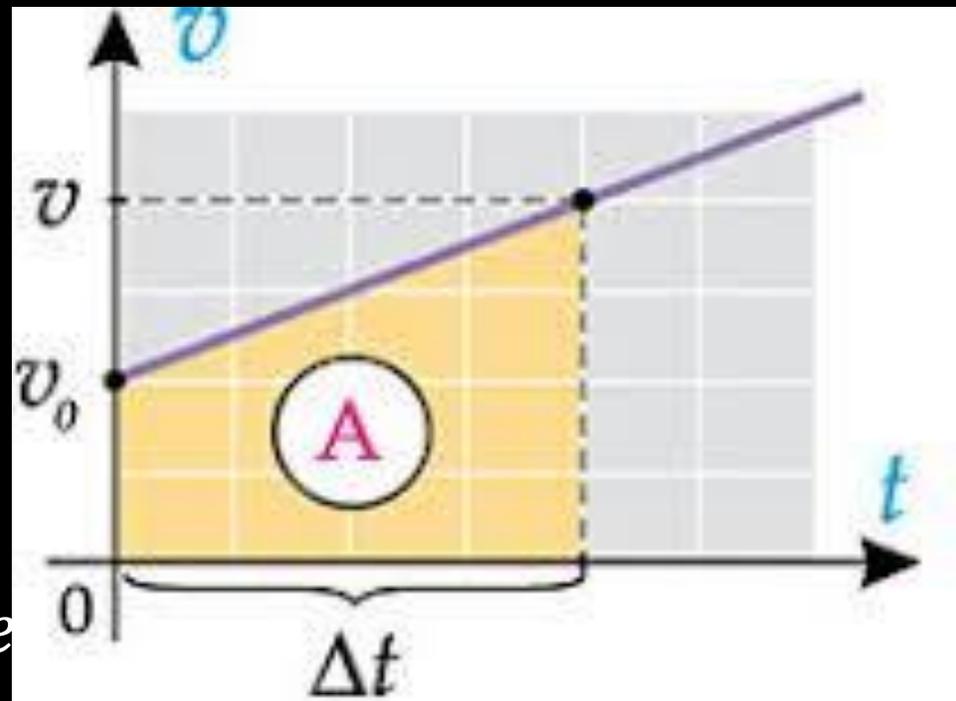
Integração da velocidade

Dado um gráfico da velocidade de um objeto em função do tempo, se pode integrar para calcular a posição

$$x_1 - x_0 = \int_{t_0}^{t_1} v \, dt$$

A integral definida do lado direito pode ser calculada a partir do gráfico

$$\int_{t_0}^{t_1} v \, dt = \text{área abaixo da curva de velocidade}$$

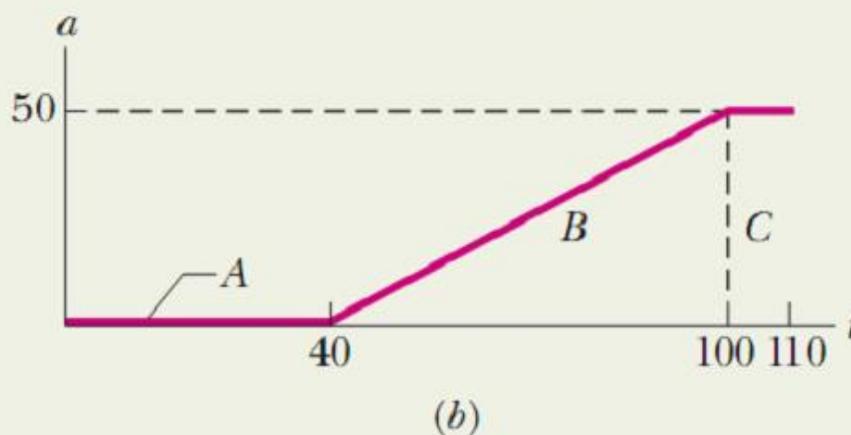
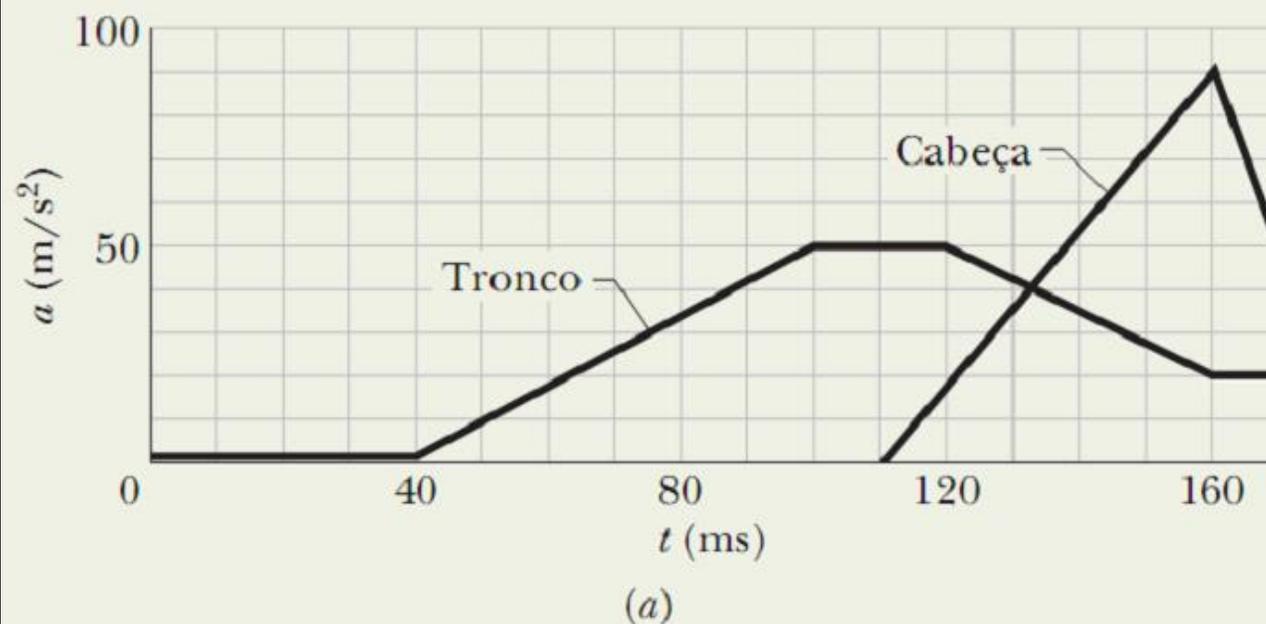


ANÁLISE DO MOVIMENTO

Exemplo

O gráfico mostra a aceleração da cabeça e do tronco de uma pessoa numa **colisão traseira**.

Para determinar a velocidade do tronco no instante $t = 0,110$ s (supondo que o tronco parte do repouso), calculamos a área sob a curva vermelha



A área é igual à variação de velocidade.

ANÁLISE DO MOVIMENTO

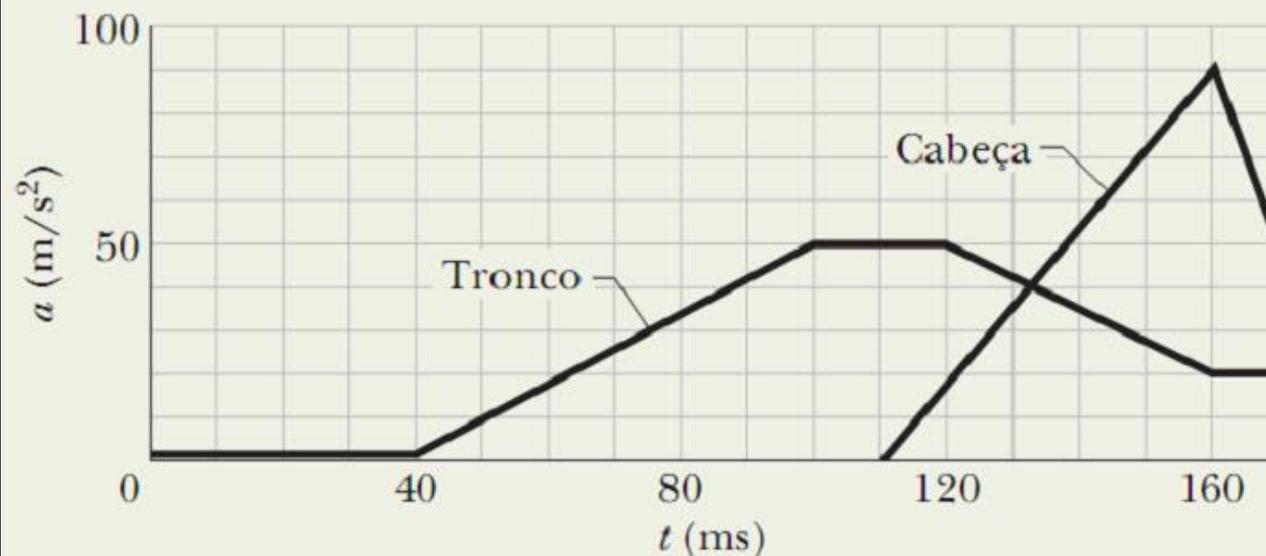
Exemplo

Área A = 0

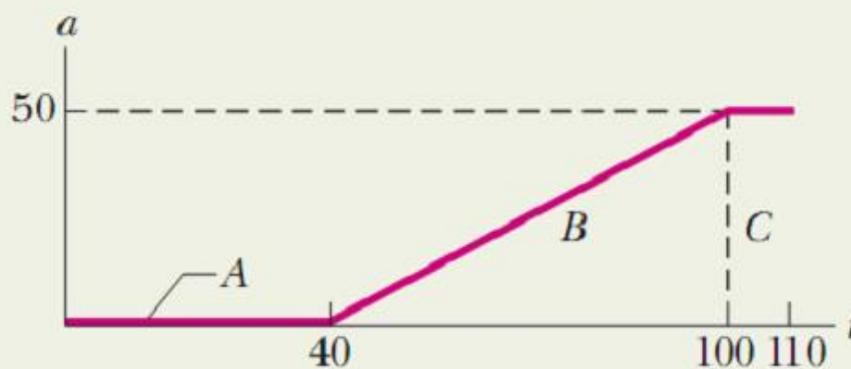
Área B = $0,5 (0,060 \text{ s})$
 $(50 \text{ m/s}^2) = 1,5 \text{ m/s}$

Área C = $(0,010 \text{ s})$
 $(50 \text{ m/s}^2) = 0,50 \text{ m/s}$

Área Total = $2,0 \text{ m/s}$



(a)



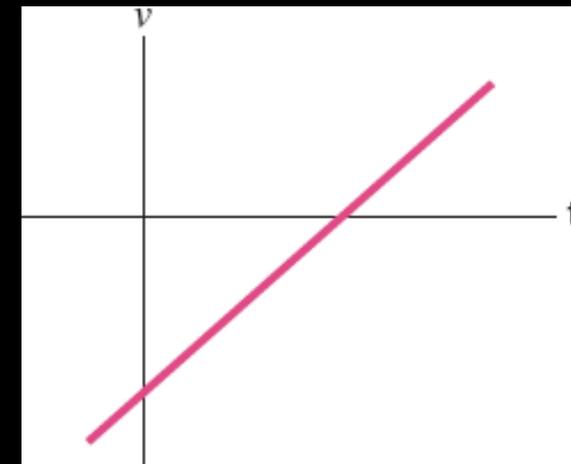
(b)

A área é igual à
variação de velocidade.

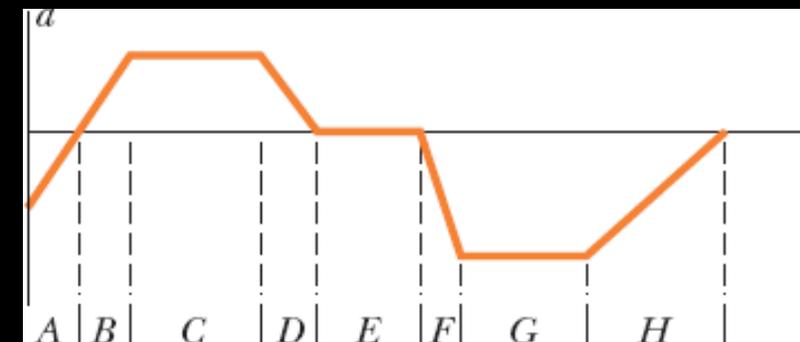
PERGUNTAS

P1. A figura mostra a velocidade de uma partícula que se move em um eixo x . Determine

- (a) o sentido inicial
- (b) o sentido final do movimento
- (c) a velocidade da partícula se anula em algum instante?
- (d) a aceleração é positiva ou negativa? (e) A aceleração é constante ou variável?

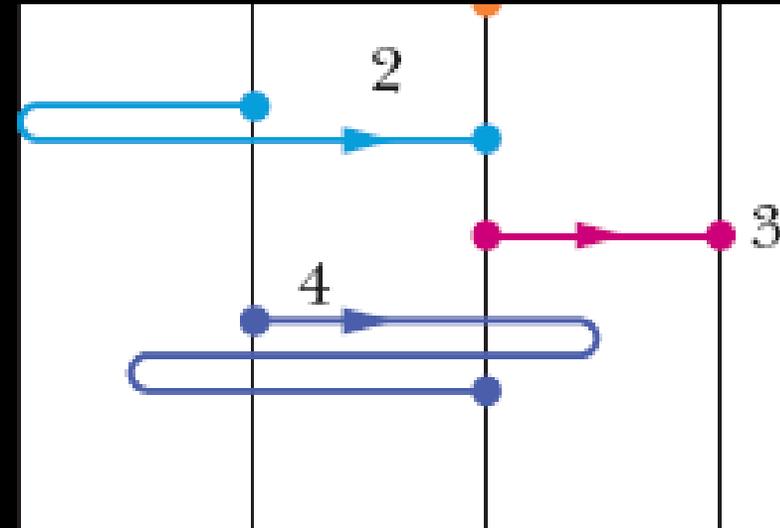


P2. A figura mostra a aceleração $a(t)$ de um chihuahua que persegue um pastor alemão ao longo de um eixo. Em qual dos períodos de tempo indicados o chihuahua se move com velocidade constante?

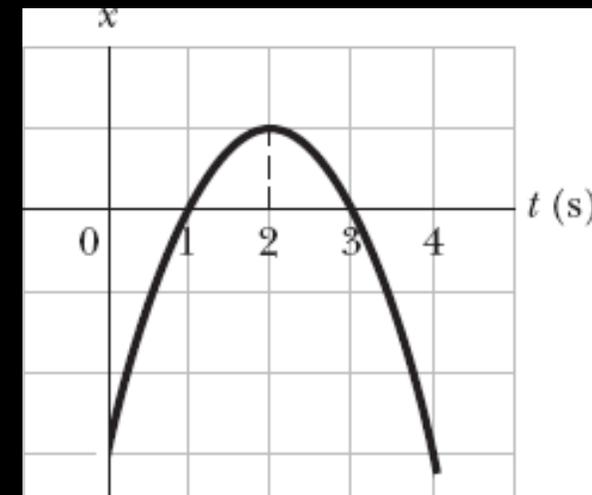


PERGUNTAS

P3. A figura mostra as trajetórias de quatro objetos de um ponto inicial a um ponto final, todas no mesmo intervalo de tempo. As trajetórias passam por três linhas retas igualmente espaçadas. Coloque as trajetórias (a) na ordem da velocidade média dos objetos e (b) na ordem da velocidade escalar média dos objetos, começando pela maior.

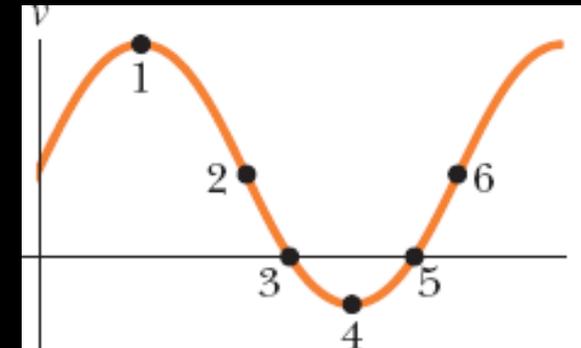


P4. A figura é um gráfico da posição de uma partícula em um eixo x em função do tempo. (a) Qual é o sinal da posição da partícula no instante $t = 0$? A velocidade da partícula é positiva, negativa ou nula (b) em $t = 1$ s, (c) em $t = 2$ s e (d) em $t = 3$ s? (e) Quantas vezes a partícula passa pelo ponto $x = 0$?



PERGUNTAS

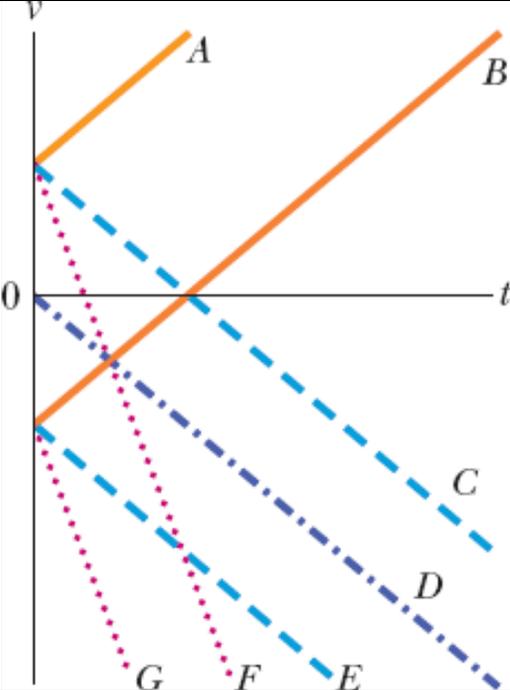
P5. A figura mostra a velocidade de uma partícula que se move ao longo de um eixo. O ponto 1 é o ponto mais alto da curva; o ponto 4 é o ponto mais baixo; os pontos 2 e 6 estão na mesma altura. Qual é o sentido do movimento (a) no instante $t = 0$ e (b) no ponto 4? (c) Em qual dos seis pontos numerados a partícula inverte o sentido de movimento? (d) Coloque os seis pontos na ordem do módulo da aceleração, começando pelo maior.



P6. No instante $t = 0$, uma partícula que se move em um eixo x está na posição $x_0 = -20$ m. Os sinais da velocidade inicial v_0 (no instante t_0) e da aceleração constante “ a ” da partícula são, respectivamente, para quatro situações: (1) +, +; (2) +, -; (3) -, +; (4) -, -. Em que situações a partícula (a) para momentaneamente, (b) certamente passa pela origem e (c) certamente não passa pela origem?

PERGUNTAS

P7. Debruçado no parapeito de uma ponte, você deixa cair um ovo (com velocidade inicial nula) e arremessa um segundo ovo para baixo. Qual das curvas da figura corresponde à velocidade $v(t)$ (a) do ovo que caiu, (b) do ovo que foi arremessado? (As curvas A e B são paralelas, assim como as curvas C, D, e E, e as curvas F e G.)



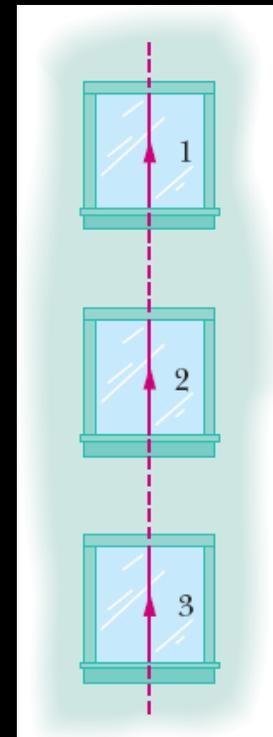
P8. As equações a seguir fornecem a velocidade $v(t)$ de uma partícula em quatro situações: (a) $v = 3$; (b) $v = 4t^2 + 2t + 6$; (c) $v = 3t - 4$; (d) $v = 5t^2 - 3$. Em que situações as equações da tabela podem ser aplicadas?

Tabela 2-1 Equações do Movimento com Aceleração Constante^a

Número da Equação	Equação	Grandeza que falta
2-11	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
2-15	$x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2$	v
2-16	$v_2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t
2-17	$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	a
2-18	$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$	v_0

^aCertifique-se de que a aceleração é constante antes de usar as equações desta tabela.

PERGUNTAS

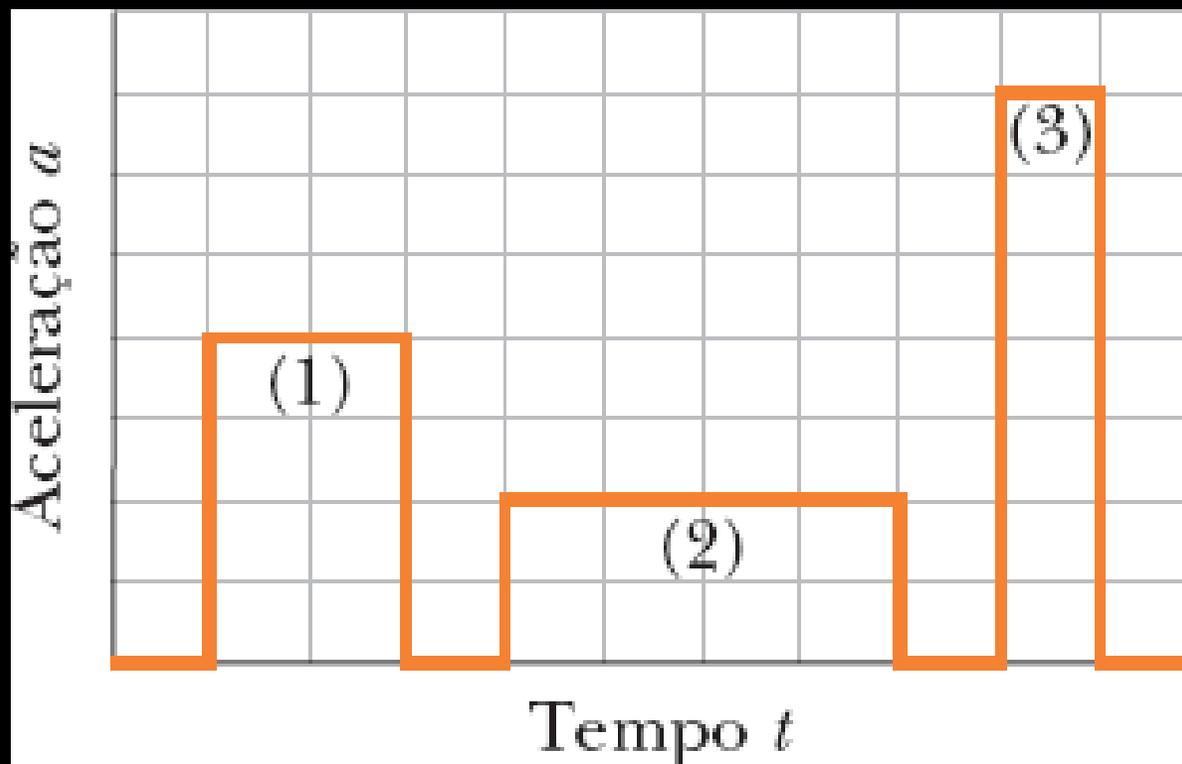


P9. Na figura, uma tangerina é lançada verticalmente para cima e passa por três janelas igualmente espaçadas e de alturas iguais. Coloque as janelas na ordem decrescente (a) da velocidade escalar média da tangerina ao passar por elas, (b) do tempo que a tangerina leva para passar por elas, (c) do módulo da aceleração da tangerina ao passar por elas e (d) da variação Δv da velocidade escalar da tangerina ao passar por elas.

P10. Um turista deixa cair uma maçã durante um voo de balão. No momento em que isso acontece, o balão está com uma aceleração, para cima, de $4,0 \text{ m/s}^2$ e uma velocidade, para cima, de 2 m/s . (a) Qual é o módulo e (b) qual é o sentido da aceleração da maçã nesse instante? (c) Nesse instante, a maçã está se movendo para cima, está se movendo para baixo, ou está parada? (d) Qual é o módulo da velocidade da maçã nesse instante? (e) A velocidade da maçã aumenta, diminui ou permanece constante nos instantes seguintes?

PERGUNTAS

P11. A figura, mostra os três períodos de aceleração a que é submetida uma partícula que se move ao longo do eixo x . Sem fazer cálculos no papel, coloque os períodos de aceleração na ordem dos aumentos que produzem na velocidade da partícula, começando pelo maior.



RESPOSTAS DAS PERGUNTAS

1. (a) negativo; (b) positivo; (c) sim; (d) positiva; (e) constante
2. E
3. (a) todas empatadas; (b) 4, 1 e 2 empatadas, 3
4. (a) negativo; (b) positiva; (c) nula; (d) negativa; (e) duas vezes
5. (a) positivo; (b) negativo; (c) 3 e 5; (d) 2 e 6 empatados, 3 e 5 empatados, 1 e 4 empatados
6. (a) 2 e 3; (b) 1 e 3; (c) 4
7. (a) D; (b) E
8. a e c
9. (a) 3, 2, 1; (b) 1, 2, 3; (c) todas empatadas; (d) 1, 2, 3
10. (a) $5,8 \text{ m/s}^2$ (b) negativo (para abaixo) (c) para cima (d) 2 m/s (e) diminui
11. 1 e 2 empatados, 3

RESUMO

Posição

- Relativa à origem
- Sentido positivo e negativo

Deslocamento

- Variação de posição (vetor)

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

Velocidade Média

- Deslocamento/tempo (vetor)

$$v_{\text{méd}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Velocidade Escalar Média

- Distância percorrida/tempo

$$s_{\text{méd}} = \frac{\text{distância total}}{\Delta t}$$

RESUMO

Velocidade Instantânea

- Em um dado instante
- O módulo é a velocidade escalar

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Aceleração Instantânea

- Derivada primeira da velocidade
- Derivada segunda da posição

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Aceleração Média

- Taxa de variação da velocidade com o tempo

$$a_{\text{méd}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Aceleração Constante

- Inclui a queda livre, em que $a = -g$ na vertical axis

Número da Equação	Equação	Grandeza que Falta
2-11	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
2-15	$x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2$	v
2-16	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t
2-17	$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	a
2-18	$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$	v_0

Tab. (2-1)

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Lista disponível em:

<http://www.eletrica.ufpr.br/p/professores:patricio:inicial>

Disciplina TE303 (Física I)

Gabaritos disponíveis no mesmo endereço