

- 1 INTRODUÇÃO, 35
- 2 ESPAÇO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO, 36
- 3 GRANDEZAS ESCALARES E GRANDEZAS VETORIAIS, 45
- 4 O PRINCÍPIO DA INÉRCIA, 47
- 5 EFEITOS DA ACELERAÇÃO, 50
- 6 FORÇAS, 52
- 7 O PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA, 59
- 8 O PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO, 64
- 9 A ACELERAÇÃO CENTRÍPETA, 69

# FORÇA E MOVIMENTO

## 1 INTRODUÇÃO

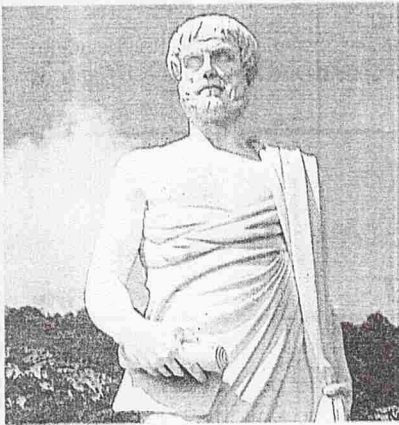


Figura 3.1 Aristóteles (384-322 a.C.).

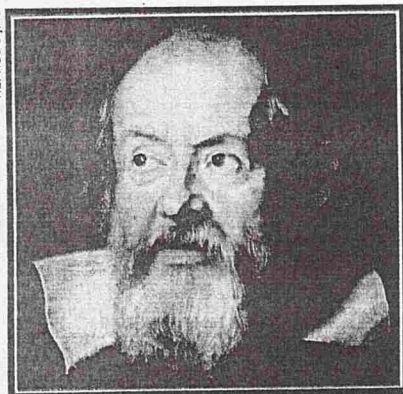


Figura 3.2 Galileu Galilei (1564-1642), físico e astrônomo italiano que, juntamente com o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630), iniciou a revolução científica que culminou com o trabalho do físico inglês Isaac Newton. Em Física, Galileu descobriu a lei da queda dos corpos e a dos movimentos de projéteis.

Objetos em movimento – bolas, jogadores, carros, aviões, e mesmo o Sol e a Lua – são uma constante em nosso dia-a-dia. Os movimentos foram, sem dúvida nenhuma, os primeiros fenômenos de nosso mundo físico a serem estudados em profundidade, e esse estudo pode ser seguido desde as antigas civilizações da Ásia Menor.

No século IV a.C., na Grécia Antiga, Aristóteles (Fig. 3.1) desenvolveu uma visão cosmológica em que relacionava idéias hoje discutidas separadamente em diversas áreas do conhecimento, como ciência, política, ética, poesia e teologia. Suas idéias mostraram-se de grande valia em muitas áreas, mas suas teorias físicas tinham limitações. Além disso, ele não usava a Matemática para descrever os fenômenos naturais, entre os quais os movimentos.

Na visão de mundo de Aristóteles, cada coisa tinha seu lugar, onde deveria permanecer. Quando, por alguma razão, algo se deslocava de sua posição “natural”, imediatamente tendia a reassumi-la, animando-se de um “movimento natural”: uma pedra, por exemplo, se elevada do chão, nele recairia, pois esse era o seu lugar. Isso não se aplicava apenas aos objetos inanimados. Os pássaros voam e os peixes nadam porque, segundo Aristóteles, existem exatamente para voar e para nadar.

Isso mostra a idéia fundamental da doutrina aristotélica: a existência de *causas finais* no Universo, que fazem com que todas as coisas sempre atuem visando atingir determinados objetivos.

Após o declínio da Grécia Antiga, os escritos de Aristóteles permaneceram desconhecidos na Europa Ocidental por mais de 1.500 anos. Foram redescobertos apenas no século XIII e exerceram influência dominante durante toda a Idade Média. Isso explica por que até então se sabia tão pouco no Ocidente sobre a natureza quanto no século IV a.C.

O Renascimento trouxe consigo uma nova arte, uma nova música e novas idéias acerca do Universo e do papel do ser humano dentro dele. A curiosidade e as atitudes questionadoras tornaram-se aceitáveis e até mesmo valorizadas. Foi então que alguns cientistas, como Galileu Galilei (Fig. 3.2) e Isaac Newton, começaram a reconhecer o uso da Matemática para analisar e descrever os fenômenos naturais.

Galileu mostrou como descrever o movimento de objetos ordinários, como o de uma bola rolando por uma rampa. Seu modo de pensar, o uso que fez da Matemática e a confiança depositada nos resultados obtidos experimentalmente lançaram as bases da ciência moderna.





Figura 3.3 Isaac Newton (1642-1727), físico e matemático inglês, considerado um dos maiores cientistas da História, deu importantes contribuições ao desenvolvimento de muitos campos da ciência. Suas descobertas e teorias lançaram as bases de grande parte do progresso científico desde então.

Se, por um lado, Galileu descreveu *como* os objetos se moviam, Newton, por outro lado, estudou *por que* os objetos se moviam de uma determinada maneira.

Newton (Fig. 3.3) estendeu suas idéias acerca dos movimentos observados na Terra e pôde explicar o dos corpos celestes. Seu trabalho ajudou a consolidar a crença de que qualquer coisa podia ser explicada racionalmente e foi uma contribuição vital para a chamada **Idade da Razão**.

Saber descrever e explicar um movimento, ou seja, compreender um movimento é o passo inicial para o entendimento das leis da Física. Neste capítulo, analisaremos alguns conceitos básicos para o desenvolvimento do estudo da Mecânica.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

Renascimento é o nome dado ao movimento de renovação intelectual e artística iniciado na Itália, no século XIV, que atingiu seu apogeu no século XVI, influenciando várias regiões da Europa. Seus desdobramentos estenderam-se, entre outros campos, à geografia e à cartografia.

Faça uma pesquisa e procure descobrir as conseqüências do Renascimento para as artes, as ciências e a sociedade da época. Discuta com seus colegas os resultados da sua pesquisa.

## 2 ESPAÇO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO

No estudo dos movimentos, qualquer corpo – seja ele uma bola, uma pessoa, um carro, um avião, ou mesmo o Sol ou a Lua – é denominado **móvel**. Dessa maneira, ao analisarmos o movimento descrito por um corpo qualquer iremos nos referir a esse corpo como *móvel*.

### Espaço

Para podermos descrever um movimento, precisamos conhecer primeiramente a posição em que o móvel está. Essa posição é determinada pelo espaço  $s$  e é sempre medido em relação a um ponto de referência chamado **origem**. Nas rodovias, por exemplo, o espaço é indicado pelos marcos quilométricos colocados ao longo do acostamento. A origem é o **marco zero** da estrada.

Quando dizemos, por exemplo, que um carro está passando pelo espaço 50 km da Rodovia dos Bandeirantes, em São Paulo, isso não significa que o carro percorreu 50 km, mas apenas que, no instante considerado, ele se encontra a 50 km da origem, ou seja, a 50 km do marco zero da estrada. Mais tarde, esse mesmo carro poderá estar passando pelo marco 70 km e, nesse intervalo de tempo, o carro terá sofrido uma variação de espaço, ou deslocamento, de 20 km. Essa variação de espaço, representada por  $\Delta s$ , foi calculada fazendo-se:  $\Delta s = 70 \text{ km} - 50 \text{ km} = 20 \text{ km}$ .

Um corpo é dito **em movimento** quando seu espaço em relação a um outro corpo chamado **referencial** varia com o passar do tempo.



## Velocidade

Na Mecânica, muitas vezes é importante conhecermos a rapidez com que um móvel sofre uma mudança de posição. A grandeza física que indica tal rapidez é denominada **velocidade média**, representada por  $v_m$ .

Para melhor entendermos esse conceito, suponha que você realize uma viagem de automóvel entre duas cidades, A e B, distantes 240 km uma da outra.

Nessa viagem, se você demorar 3 h para ir de A a B, então terá sofrido uma variação de espaço, em média, de 80 km a cada 1 h de viagem. (Fig. 3.4) Dizemos, então, que sua velocidade média foi de 80 km/h. Isso não quer dizer que o velocímetro de seu carro sempre marcou 80 km/h. Essa velocidade média indica, apenas, que a cada 1 hora de viagem, você teve, em média, uma variação de espaço de 80 km. Durante a viagem, o velocímetro de seu carro pode ter marcado outros valores.

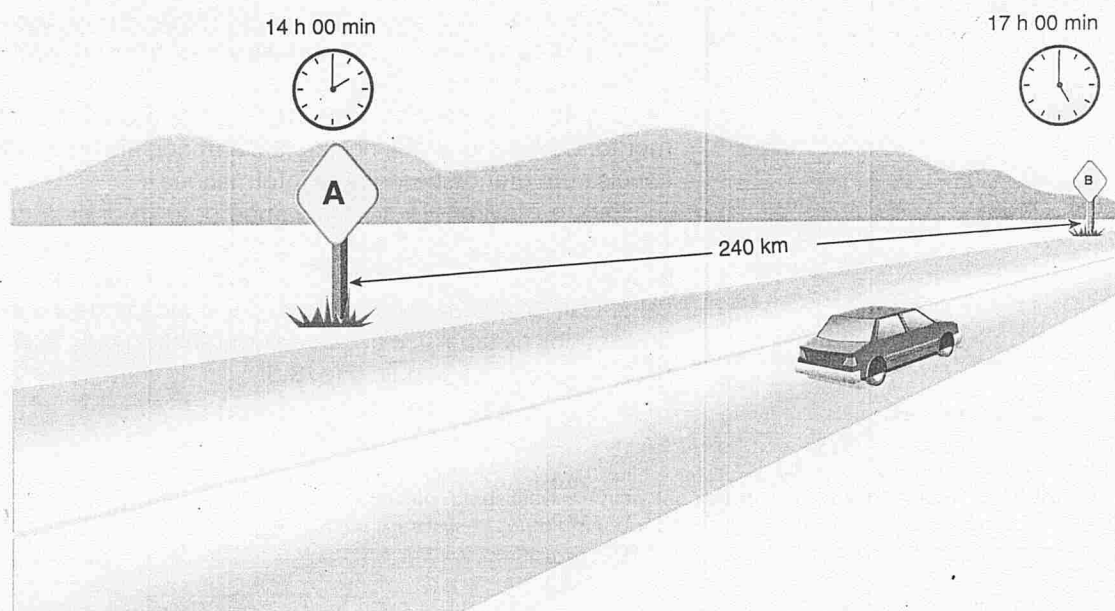


Figura 3.4

Se, para realizar a mesma viagem, você tivesse gastado 6 horas, sua velocidade média teria sido de 40 km/h, ou seja, você teria tido uma variação de espaço, em média, de 40 km a cada 1 h de viagem.

Observe que, quanto maior a rapidez com que você se desloca, maior será sua velocidade média. Em outras palavras, para uma dada variação de espaço  $\Delta s$ , a velocidade média  $v_m$  é inversamente proporcional ao intervalo de tempo  $\Delta t$  correspondente, isto é, quanto menor o intervalo de tempo, tanto maior será a velocidade média.

Podemos generalizar esses resultados e obter uma expressão para calcular a velocidade média  $v_m$  em uma variação de espaço qualquer:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

No SI, a unidade de medida da velocidade média é o **metro por segundo** (m/s), mas, na prática, como acabamos de exemplificar, é bastante comum medi-la em **quilômetro por hora** (km/h).

Note que:

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1 \frac{1.000 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} \Rightarrow 1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$



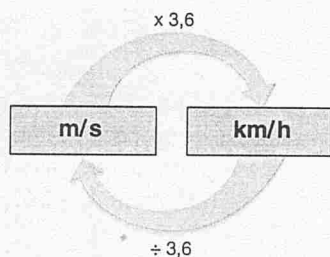


Figura 3.5 Conversão entre unidades de velocidade.

Assim, para converter m/s em km/h, basta multiplicar por 3,6. Logicamente, a conversão inversa, de km/h em m/s, é obtida com a divisão por 3,6. (Fig. 3.5)

$$\text{Por exemplo: } 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$\text{Ou então: } 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para exemplificar a utilização dessas grandezas físicas, vamos admitir que, durante o estudo de um determinado movimento, tenhamos obtido os dados mostrados na tabela a seguir:

$t$ (s)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$s$ (m)	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	16,0	16,0

Essa tabela mostra o espaço  $s$  do móvel em cada correspondente instante  $t$  de tempo. Tais dados foram obtidos a partir de medições efetuadas durante um experimento.

O gráfico é uma maneira bastante eficiente de se analisar um movimento. Conforme vimos no capítulo anterior, ele apresenta de maneira concisa um grande número de informações.

Para o movimento acima, vamos obter o gráfico do espaço  $s$  do móvel em função do tempo  $t$ . Isso é feito colocando-se, no eixo das abscissas (eixo  $x$ ), a variável  $t$  e, no eixo das ordenadas (eixo  $y$ ), a variável  $s$ . Daí, localizamos cada ponto por meio de suas coordenadas (dados obtidos na tabela), e traçamos uma linha ligando os pontos. O resultado é mostrado a seguir. (Fig. 3.6)

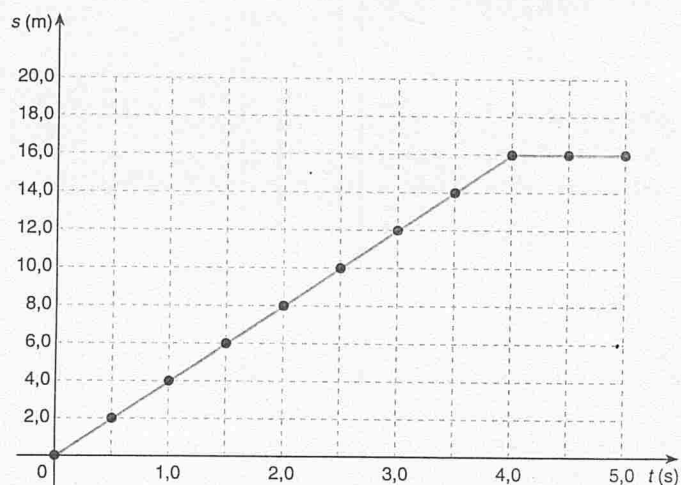


Figura 3.6

A observação desse gráfico permite-nos tirar muitas conclusões! A partir dele, podemos calcular a velocidade média em qualquer intervalo de tempo. No intervalo de 0 a 4,0 s, a velocidade média é dada por:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{16,0 - 0}{4,0 - 0} \Rightarrow v_m = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Isso significa que o móvel sofreu, em média, um deslocamento de 4,0 m a cada 1,0 s.

Observe no gráfico que, a partir do instante  $t = 4,0$  s, a posição do móvel não se altera. Em outras palavras, o móvel encontra-se em **repouso**.



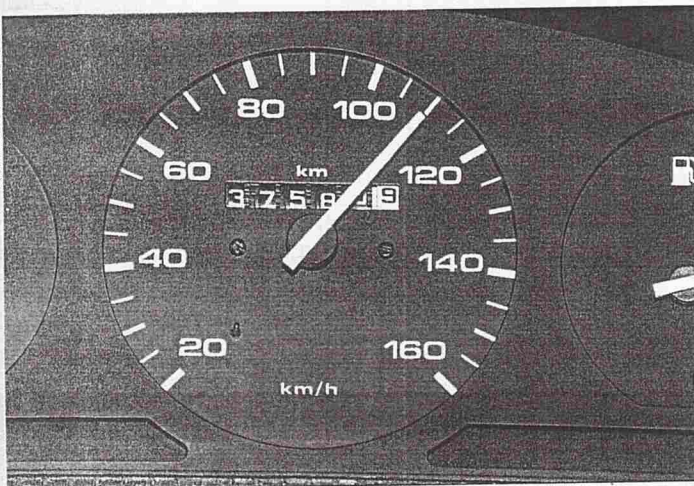


Figura 3.7 O velocímetro de um automóvel, por exemplo, registra a velocidade do veículo no instante em que é feita a leitura do instrumento, ou seja, a velocidade instantânea do automóvel.

Durante uma viagem de automóvel, o velocímetro pode indicar diferentes velocidades. (Fig. 3.7) Ele mostra a velocidade do móvel no exato momento em que é observado, denominada **velocidade instantânea** e representada por  $v$ .

Naturalmente a unidade de medida da velocidade instantânea no SI também é o m/s.

Ainda usando o gráfico anterior, podemos concluir que entre 0 e 4,0 s o móvel se desloca com **velocidade instantânea** constante e igual a 4,0 m/s, isso porque sua posição varia de modo uniforme com o passar do tempo, isto é, para iguais intervalos de tempo teremos iguais variações de espaço – a cada 1 s, por exemplo, o móvel percorre 4 m. Logicamente, entre 4,0 e 5,0 s, a velocidade instantânea do móvel é **nula** ( $v = 0$ ).

### Ciência, Tecnologia e Sociedade

No início da expansão das ferrovias para o Oeste dos Estados Unidos, teve lugar uma acalorada discussão: os médicos não sabiam prever os efeitos das “altas” velocidades (60 km/h) sobre o organismo humano. A discussão voltou à tona com o advento dos automóveis no final do século XIX e início do XX. Hoje em dia, com a evolução dos transportes, podemos cruzar o mundo em algumas horas. Daí uma das razões para a expressão “aldeia global”.

Discuta com seus colegas de classe as vantagens e desvantagens desse “encurtamento” de distâncias. Quais são os aspectos positivos dessa globalização para a sociedade como um todo? E os aspectos negativos?

Como exemplo de aplicação simples do cálculo da velocidade média, considere a situação seguinte.

Um ônibus parte da cidade A às 9 h 15 min e chega à cidade B, distante 300 km de A, às 12 h 35 min. Determine a velocidade média desse ônibus durante a viagem, em km/h e em m/s.

Determinemos inicialmente a duração da viagem. O intervalo de tempo  $\Delta t$  é dado pela diferença entre o instante de chegada à cidade B e o instante de partida da cidade A. Então:

$$\Delta t = 12 \text{ h } 35 \text{ min} - 9 \text{ h } 15 \text{ min} = 3 \text{ h } 20 \text{ min} \Rightarrow \Delta t = 3 \text{ h} + \frac{1}{3} \text{ h} = \frac{10}{3} \text{ h}$$

A variação de espaço  $\Delta s$  sofrida pelo ônibus corresponde à distância entre A e B,  $\Delta s = 300 \text{ km}$ .

Portanto:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{300 \text{ km}}{\frac{10}{3} \text{ h}} \Rightarrow v_m = 90 \text{ km/h}$$

Sabendo que  $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$  ou, ainda, que  $1 \text{ km/h} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$ , temos:

$$v_m = 90 \text{ km/h} = 90 \cdot \frac{1}{3,6} \text{ m/s} \Rightarrow v_m = 25 \text{ m/s}$$



É possível que uma determinada variação de espaço seja realizada em etapas, ou seja, diferentes trechos percorridos com diferentes velocidades médias. Como poderíamos calcular a velocidade média na viagem completa? Observe o exemplo a seguir e tire suas conclusões.

Um móvel descreve uma trajetória retilínea  $ABC$ . O trecho  $AB$  é percorrido com velocidade média igual a 25 m/s e o trecho  $BC$  é percorrido em 3 s. Sabendo que  $AB = 50$  m e  $BC = 150$  m, determine:

- o intervalo de tempo decorrido durante o percurso do trecho  $AB$ ;
- a velocidade média no trecho  $BC$ ;
- a velocidade média durante o percurso de todo o trecho  $AC$ .

Para a resolução do problema, devemos ter em mente que a velocidade média é sempre calculada pela relação:  $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ .

a) No trecho  $AB$ , temos:  $\Delta s_{AB} = 50$  m e  $v_{m(AB)} = 25$  m/s. Então:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 25 = \frac{50}{\Delta t_{AB}} \Rightarrow \Delta t_{AB} = 2 \text{ s}$$

b) No trecho  $BC$ , temos:  $\Delta s_{BC} = 150$  m e  $\Delta t_{BC} = 3$  s. Então:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_{m(BC)} = \frac{150}{3} \Rightarrow v_{m(BC)} = 50 \text{ m/s}$$

c) Para o trecho  $AC$ , temos:  $\Delta s_{AC} = 50$  m + 150 m = 200 m e  $\Delta t_{AC} = 2$  s + 3 s = 5 s. Então:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_{m(AC)} = \frac{200}{5} \Rightarrow v_{m(AC)} = 40 \text{ m/s}$$

Uma observação final de grande importância: a velocidade média não é a média das velocidades!

Para melhor entender o que acabamos de dizer, considere a situação apresentada a seguir.

Um carro percorre a primeira metade de uma viagem com velocidade média de 40 km/h e a segunda metade com velocidade média de 60 km/h. Qual é a velocidade média do carro durante a viagem toda?

Vamos chamar de  $D$  a variação de espaço do carro em cada uma das metades do percurso. Dessa maneira, na viagem toda a variação de espaço do carro será igual a  $2D$ .

Para o cálculo da velocidade média ( $v_m$ ), durante a viagem, resta-nos descobrir o tempo total gasto para o carro sofrer o deslocamento  $2D$ .

$$\text{Na primeira metade da viagem: } v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 40 = \frac{D}{\Delta t_1} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{D}{40}$$

$$\text{Na segunda metade da viagem: } v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 60 = \frac{D}{\Delta t_2} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{D}{60}$$

Então, na viagem toda:

$$v_m = \frac{\Delta s_{total}}{\Delta t_{total}} \Rightarrow v_m = \frac{2D}{\frac{D}{40} + \frac{D}{60}} \Rightarrow v_m = \frac{2D}{\frac{6D + 4D}{240}} \Rightarrow v_m = \frac{2D}{\frac{D}{24}} \Rightarrow v_m = 48 \text{ km/h}$$



## Aplicação Tecnológica

### Semáforos sincronizados

É muito provável que você já tenha trafegado por uma rua ou avenida na qual os semáforos foram ajustados para criar a chamada "onda verde", quando os veículos trafegarem a uma certa velocidade média  $v_m$ .

Para fazer esse ajuste, o engenheiro de tráfego precisa conhecer apenas a distância entre dois semáforos consecutivos,  $\Delta s$ . De posse desses dados, o engenheiro pode calcular, então, o intervalo de tempo  $\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m}$  entre o instante em que a luz verde do primeiro semáforo se acende e o instante

em que a luz verde do seguinte deverá se acender. Note que essa velocidade média usada no cálculo é a velocidade média com que qualquer carro que trafegue pela via deverá deslocar-se para encontrar sempre semáforos abertos.

Para esse sistema de tráfego, não importa como o(a) motorista irá trafegar entre os dois semáforos, se rapidamente no início do trecho e depois mais lentamente, ou se ele(a) irá manter uma velocidade constante no trecho todo. Do ponto de vista do consumo de combustível, é mais econômico manter uma velocidade constante.



Uma observação mais detalhada da foto acima revela várias luzes verdes em seqüência, seguidas por luzes vermelhas, seguidas por luzes verdes, e assim por diante. Um(a) motorista dirigindo a uma velocidade média apropriada irá encontrar apenas semáforos abertos.

## EXERCÍCIOS

1 (U. E. Londrina-PR) Um homem caminha com velocidade  $V_H = 3,6 \text{ km/h}$ , uma ave com velocidade  $V_A = 30 \text{ m/min}$  e um inseto com  $V_I = 60 \text{ cm/s}$ . Essas velocidades satisfazem a relação:

- a)  $V_I > V_H > V_A$                       d)  $V_A > V_H > V_I$   
b)  $V_A > V_I > V_H$                       e)  $V_H > V_I > V_A$   
c)  $V_H > V_A > V_I$

2 (U. Uberaba-MG) A unidade de velocidade usada nos navios é o nó, e seu valor equivale a cerca de  $1,8 \text{ km/h}$ . Se um navio se movimentar a uma velocidade média de 20 nós, em 5 h de viagem ele terá percorrido:

- a) 9 km                                      c) 36 km                                      e) 250 km  
b) 18 km                                      d) 180 km

3 (UERJ) Uma estrada recém-asfaltada entre duas cidades é percorrida de carro, durante uma hora e meia, sem parada. A extensão do percurso entre as cidades é de aproximadamente:

- a)  $10^3 \text{ m}$                                       c)  $10^5 \text{ m}$   
b)  $10^4 \text{ m}$                                       d)  $10^6 \text{ m}$

4 (UERJ) A velocidade normal com que uma fita de vídeo passa pela cabeça de um gravador é de aproximadamente  $33 \text{ mm/s}$ . Assim, o comprimento de uma fita de 120 min de duração corresponde a cerca de:

- a) 40 m                                      c) 120 m  
b) 80 m                                      d) 240 m

5 Durante a Copa do Mundo de Futebol de 1998, na França, os juízes de futebol correram, em média,  $15 \text{ km}$  por jogo. Determine, em  $\text{km/h}$ ; a velocidade média desenvolvida pelos juízes durante os jogos.

6 (UFES) Uma pessoa caminha  $1,5 \text{ passos/segundo}$ , com passos que medem  $70 \text{ cm}$  cada um. Ela deseja atravessar uma avenida com  $21 \text{ m}$  de largura. O tempo mínimo que o sinal de trânsito de pedestres deve ficar aberto para que essa pessoa atravesse a avenida com segurança é:

- a) 10 s                                      c) 20 s                                      e) 45 s  
b) 14 s                                      d) 32 s



## Aceleração

Outro conceito fundamental para o estudo da Mecânica é o de **aceleração**.

Em termos da Física, a aceleração indica a rapidez com que ocorre uma determinada variação na velocidade instantânea do móvel. É muito comum dizermos que um corpo que se movimenta com velocidade variável tem uma aceleração. Um carro cuja velocidade aumenta de 0 a 80 km/h estará acelerando. Se um outro carro puder ter essa mesma variação de velocidade, mas em um intervalo de tempo menor, então podemos dizer que esse segundo carro tem uma aceleração maior. Concluímos, portanto, que, para uma mesma variação de velocidade  $\Delta v$ , a aceleração é inversamente proporcional ao intervalo de tempo  $\Delta t$ .

Assim, a **aceleração média**, que representaremos por  $a_m$ , é, por definição, dada por:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Voltemos ao exemplo do carro que acelera de 0 a 80 km/h. Vamos admitir que essa variação de velocidade tenha ocorrido em um intervalo de tempo de 10 s. Nesse caso, a aceleração média desse carro será igual a:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{80 \text{ km/h}}{10 \text{ s}} \Rightarrow a_m = 8 \frac{\text{km/h}}{\text{s}}$ . Podemos interpretar essa aceleração dizendo que, em média, a velocidade instantânea do carro está variando de 8 km/h, a cada um segundo, durante essa arrancada: 0 (no instante  $t = 0$ ), 8 km/h (para  $t = 1$  s), 16 km/h (para  $t = 2$  s), 24 km/h (para  $t = 3$  s), e assim por diante. (Fig. 3.8)

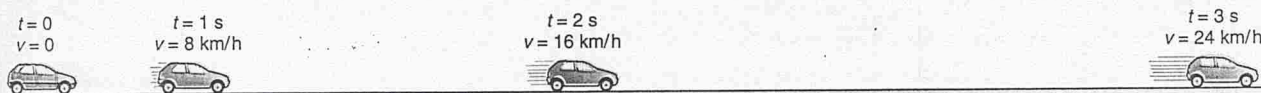


Figura 3.8 Automóvel em movimento acelerado.

Note que a aceleração média, conforme calculada anteriormente, refere-se à variação de velocidade ocorrida em um certo intervalo de tempo.

A **aceleração instantânea  $a$**  pode ser interpretada como uma aceleração média calculada para um intervalo de tempo  $\Delta t$  muito pequeno, ou seja, para  $\Delta t$  tendendo a zero. É a aceleração do móvel em um dado instante.

No SI, a unidade de medida da aceleração média e da aceleração instantânea é o **metro por segundo por segundo**  $\left(\frac{\text{m/s}}{\text{s}} \text{ ou } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$ .

Neste ponto, é conveniente ressaltar que, ao abandonarmos um corpo nas proximidades da superfície terrestre, e se desprezarmos a resistência do ar, ele é atraído para o solo e cai livremente com velocidade crescente. Em outras palavras, o corpo acelera. A aceleração adquirida pelo corpo, nesse caso, é denominada **aceleração gravitacional** e é geralmente representada por  $g$ .

Nas proximidades da superfície terrestre, a aceleração gravitacional é aproximadamente igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

Neste livro, sempre que necessário e a menos que se diga algo em contrário, vamos considerar que nas proximidades da superfície terrestre a aceleração gravitacional tem valor igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , isto é:

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$



É bastante comum os jornais e revistas especializadas em automobilismo apresentarem o resultado de testes realizados com veículos. Para exemplificar como a definição acima pode ser usada em um caso prático, considere o problema seguinte:

Suponha que, durante um teste, um carro acelera de 0 a 108 km/h num intervalo de tempo de 10 s. Determine a aceleração média desse veículo em  $\text{m/s}^2$ .

Os dados fornecidos no enunciado são:  $v_1 = 0$ ;  $v_2 = 108 \text{ km/h}$  e  $\Delta t = 10 \text{ s}$ .

A velocidade final do carro, em  $\text{m/s}$ , é:  $v_2 = 108 \text{ km/h} = \frac{108}{3,6} \text{ m/s} \Rightarrow v_2 = 30 \text{ m/s}$ .

Então, a variação de velocidade é:  $\Delta v = v_2 - v_1 \Rightarrow \Delta v = 30 - 0 \Rightarrow \Delta v = 30 \text{ m/s}$ .

A aceleração média é dada por:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{30}{10} \Rightarrow a_m = 3 \text{ m/s}^2$ .

Veja no exemplo seguinte como calcular a velocidade instantânea de um móvel, conhecida a sua aceleração média.

Um avião, durante a arremetida para a decolagem, tem aceleração média de  $6 \text{ m/s}^2$ . Sabendo que ele partiu do repouso e que a arremetida levou 12 s, determine sua velocidade final, em  $\text{m/s}$  e em  $\text{km/h}$ , no instante em que inicia o vôo.

Nesse caso, temos agora:  $a_m = 6 \text{ m/s}^2$ ;  $v_1 = 0$  e  $\Delta t = 12 \text{ s}$ .

Então:  $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 6 = \frac{v_2 - 0}{12} \Rightarrow v_2 = 72 \text{ m/s}$ .

Como  $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ :  $v_2 = 72 \text{ m/s} \Rightarrow v_2 = 72 \cdot 3,6 \text{ km/h} \Rightarrow v_2 = 260 \text{ km/h}$ .

## EXERCÍCIOS

17 Em um teste de desempenho de um automóvel, foram obtidos os seguintes dados:

- arrancada de 0 a 100 km/h em 17,58 s;
- retomada de velocidade de 40 km/h a 60 km/h (em terceira marcha) em 4,89 s.

Com base nesses resultados, determine:

- a aceleração média desenvolvida durante a arrancada;
- a aceleração média desenvolvida durante a retomada de velocidade em terceira marcha;
- o tempo necessário para passar de 20 km/h a 80 km/h, supondo uma aceleração igual à determinada no item anterior.

18 (U. Caxias do Sul-RS) Uma revista automobilística, comparando diferentes carros com motor 1.000, no item aceleração, afirma que um deles vai de 0 a 100 km/h em 17,22 s, percorrendo a distância de 309,0 m. Isso significa que nesse intervalo de tempo o carro:

- desloca-se com velocidade constante.
- tem uma velocidade média de 50 km/h no trecho indicado.
- tem velocidade média de 14,0 m/s.
- tem uma aceleração média de 5,8 km/h/s.
- tem uma aceleração média de 5,8  $\text{m/s}^2$ .

19 (Unirio-RJ) Caçador nato, o guepardo é uma espécie de mamífero que reforça a tese de que os animais predadores estão entre os bichos mais velozes da natureza. Afinal, a velocidade é essencial para os que caçam outras espécies em busca de alimentação. O guepardo é capaz de, saindo do repouso e correndo em linha reta, chegar à velocidade de 72 km/h em apenas 2,0 segundos, o que nos permite concluir, em tal situação, ser o módulo de sua aceleração média, em  $\text{m/s}^2$ , igual a:

- a) 10      b) 15      c) 18      d) 36      e) 50

20 (UFES) Um automóvel de massa 800 kg, estando a uma velocidade de 108 km/h, choca-se frontalmente contra uma muralha, parando completamente 2 s após o início da colisão. A razão entre os módulos da desaceleração média do automóvel durante o choque,  $a$ , e a aceleração da gravidade,  $g$ , é:

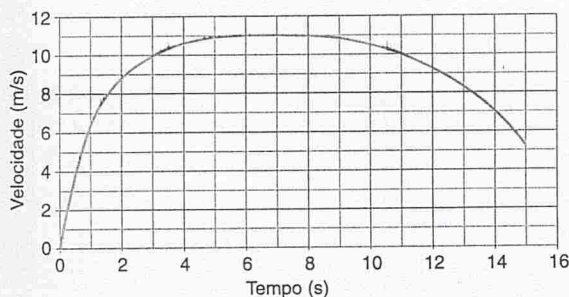
- a)  $\frac{a}{g} = 0,375$       c)  $\frac{a}{g} = 1,5$       e)  $\frac{a}{g} = 54$   
b)  $\frac{a}{g} = 0,75$       d)  $\frac{a}{g} = 27$

(Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)

21 Uma bola chega às mãos de um goleiro de futebol com velocidade de 54 km/h. Sabendo que o goleiro consegue imobilizar essa bola em 0,5 s, determine, em  $\text{m/s}^2$ , o módulo da aceleração média da bola.



(Enem) O enunciado a seguir refere-se às questões 22 e 23. Em uma prova de 100 m rasos, o desempenho típico de um corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir:



**22** Baseado no gráfico, em que intervalo de tempo a velocidade do corredor é aproximadamente constante?

- a) Entre 0 e 1 segundo.
- b) Entre 1 e 5 segundos.
- c) Entre 5 e 8 segundos.
- d) Entre 8 e 11 segundos.
- e) Entre 12 e 15 segundos.

**23** Em que intervalo de tempo o corredor apresenta aceleração máxima?

- a) Entre 0 e 1 segundo.
- b) Entre 1 e 5 segundos.
- c) Entre 5 e 8 segundos.
- d) Entre 8 e 11 segundos.
- e) Entre 9 e 15 segundos.

### 3 GRANDEZAS ESCALARES E GRANDEZAS VETORIAIS

Antes de passarmos ao conceito seguinte, é necessário fazermos a distinção entre grandezas escalares e grandezas vetoriais.

A **grandeza física escalar** é aquela que fica perfeitamente caracterizada quando conhecemos apenas sua intensidade acompanhada pela correspondente unidade de medida. Como exemplos de grandeza física escalar podemos citar a massa de um corpo (por exemplo, 50 kg), a temperatura (por exemplo, 36 °C), o volume (5 m<sup>3</sup>, por exemplo), a densidade (para a água, 1.000 kg/m<sup>3</sup>), a pressão (10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>), a energia (por exemplo, 100 J) e muitas outras que iremos estudar neste livro.

Dada a velocidade instantânea de um móvel qualquer (por exemplo, um carro a 80 km/h), constatamos que apenas essa indicação é insuficiente para dizermos a direção em que o móvel segue. Isso acontece porque a velocidade é uma **grandeza física vetorial**.

Para uma grandeza física vetorial ficar plenamente caracterizada, é necessário saber não apenas a sua **intensidade** ou **módulo** mas também a sua **direção** e o seu **sentido**. Geralmente a grandeza vetorial é indicada por uma letra encimada por uma setinha (por exemplo,  $\vec{v}$ ) e o módulo ou intensidade, por  $|\vec{v}|$  ou, mais resumidamente, por  $v$ .

A grandeza física vetorial pode ser representada graficamente por um segmento de reta (indicando a direção da grandeza) dotado de uma seta (indicativa de seu sentido) e trazendo ainda seu valor seguido da unidade de medida (indicação de seu módulo ou intensidade). Tal representação é denominada **vetor**.

No caso do carro, citado há pouco, poderíamos dizer, por exemplo, que ele se movimenta num certo instante com velocidade  $\vec{v}$ , de módulo  $v = 80 \text{ km/h}$ , na direção norte-sul e sentido de sul para norte. Essa velocidade vetorial instantânea pode ser representada por um vetor conforme mostrado na figura. (Fig. 3.9)

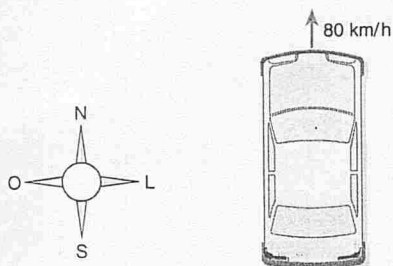


Figura 3.9 Exemplo de representação vetorial.

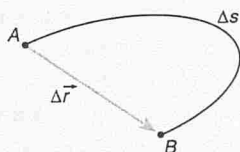


Figura 3.10 Representação do deslocamento escalar  $\Delta s$  e do deslocamento vetorial  $\Delta \vec{r}$ .

Apesar de termos estudado, até agora, os conceitos de deslocamento, velocidade e aceleração sob um ponto de vista escalar, é intuitivo perceber que o deslocamento sofrido por um móvel e também sua aceleração, do mesmo modo que a velocidade instantânea, também são grandezas físicas vetoriais.

A figura mostra um móvel que se desloca desde um ponto A até um ponto B, seguindo por uma trajetória curvilínea. A variação de espaço ou deslocamento escalar  $\Delta s$ , conforme indicado na figura, é medido ao longo da trajetória. Por outro lado, o deslocamento vetorial, representado por  $\Delta \vec{r}$ , é o vetor com origem no ponto A e extremidade no ponto B. (Fig. 3.10)



Neste livro, iremos estudar outras grandezas físicas vetoriais além das já citadas, como a força, a quantidade de movimento, o impulso etc.

Para entender como podemos aplicar os conceitos de vetor e, por exemplo, de deslocamento vetorial, analise o problema proposto a seguir.

João parte de carro de sua casa e dirige a 80 km/h durante 0,5 h, na direção norte-sul, indo do sul para norte. A seguir, muda seu rumo e passa a seguir a direção leste-oeste, dirigindo-se para o oeste a 60 km/h por 0,5 h. Ao final dessa viagem de 1 h, a que distância João estará de sua casa? Qual é o módulo da sua velocidade vetorial média?

Devemos inicialmente calcular os deslocamentos sofridos por João em cada uma das duas etapas de sua viagem. Para isso, vamos usar a expressão da velocidade média:  $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ .

$$\text{No primeiro trecho: } v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 80 = \frac{\Delta s_1}{0,5} \Rightarrow \Delta s_1 = 40 \text{ km}$$

$$\text{E, no segundo trecho da viagem: } v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 60 = \frac{\Delta s_2}{0,5} \Rightarrow \Delta s_2 = 30 \text{ km}$$

Observe que, em cada etapa da viagem, o módulo do deslocamento vetorial coincide com o deslocamento escalar, pois João movimenta-se, em cada etapa, em linha reta.

Vamos agora representar vetorialmente esses dois deslocamentos e, com eles, o deslocamento total sofrido por João. Na figura ao lado, cada quadrícula tem lado medindo 10 km. Observe que o deslocamento total,  $\Delta \vec{r}_{total}$ , tem módulo  $\Delta r_{total}$  que pode ser calculado pelo Teorema de Pitágoras, aplicado ao triângulo retângulo cujos lados são os vetores deslocamentos ocorridos em cada uma das duas etapas:

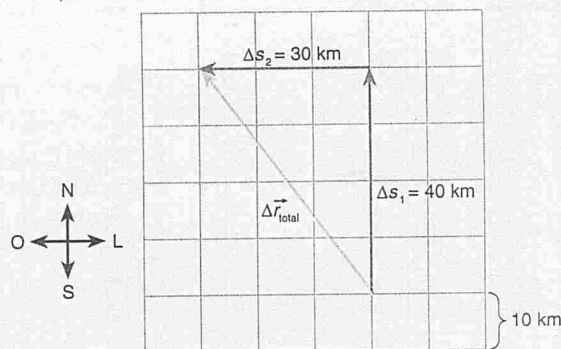
$$\Delta r_{total}^2 = \Delta s_1^2 + \Delta s_2^2 \Rightarrow \Delta r_{total}^2 = 40^2 + 30^2 \Rightarrow \Delta r_{total} = 50 \text{ km}$$

Portanto, ao final da viagem, João estará a uma distância de 50 km de sua casa.

O módulo da velocidade vetorial média é dado pela relação entre o módulo do deslocamento vetorial total e o intervalo de tempo correspondente. Então:

$$|\vec{v}_m| = \frac{\Delta r_{total}}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{v}_m| = \frac{50 \text{ km}}{1 \text{ h}} \Rightarrow |\vec{v}_m| = 50 \text{ km/h}$$

É importante ressaltar que o vetor velocidade média tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor deslocamento total.



## EXERCÍCIOS

24 Construa em seu caderno um sistema de eixos ortogonais  $x$ ,  $y$  e origem  $O$ . Considere um móvel que parte do ponto  $A(-2; -4)$  e sofre os deslocamentos de  $A$  para  $B(1, -2)$ ; de  $B$  para  $C(3, -3)$  e de  $C$  para  $D(4, 4)$ . Essas coordenadas são medidas em metros.

- Represente os deslocamentos de  $A$  para  $B$ , de  $B$  para  $C$  e de  $C$  para  $D$ .
- Represente na própria figura o deslocamento total de  $A$  para  $D$ .
- Calcule o módulo do deslocamento total de  $A$  para  $D$ .

25 Um homem partindo de um ponto  $A$  desloca-se 4 km na direção leste-oeste e no sentido de oeste para leste, chegando a

um ponto  $B$ . A seguir, a partir de  $B$ , desloca-se por mais 3 km na direção norte-sul e no sentido de sul para norte, chegando ao ponto  $C$ .

- Faça um quadriculado em seu caderno, adote uma escala e represente graficamente os deslocamentos sequenciais de  $A$  para  $B$  e de  $B$  para  $C$  sofrido pelo homem.
- Determine a distância total percorrida pelo homem e o correspondente deslocamento vetorial total que ele sofreu.
- Determine a velocidade vetorial média do homem, sabendo que os deslocamentos de  $A$  para  $B$  e de  $B$  para  $C$  foram cumpridos em um intervalo de tempo de 0,5 hora.



## 4 O PRINCÍPIO DA INÉRCIA

Em nosso dia-a-dia, a noção de força é algo intuitivo e aprendemos como aplicar forças antes mesmo de aprender a andar. Em termos da Física, a **força** é o agente físico associado à idéia de puxar ou de empurrar. Sendo uma grandeza física vetorial, para ficar plenamente caracterizada, uma força deve ter especificada sua direção, seu sentido e sua intensidade. No SI, a intensidade da força é medida em **newton**, símbolo **N**.

A figura a seguir mostra-nos um barco sendo puxado ao longo de um canal por duas forças,  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$ . (Fig. 3.11)

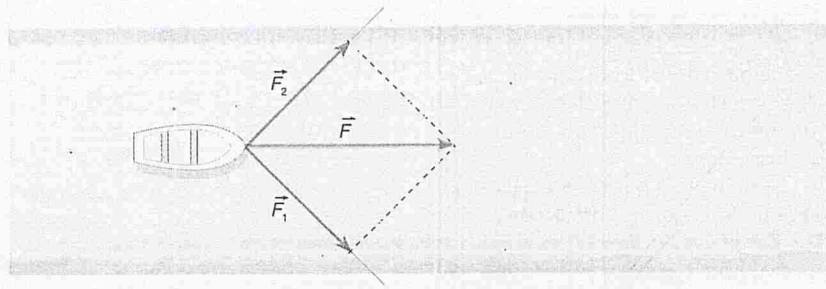


Figura 3.11 A força  $\vec{F}$  é a **força resultante**, ou seja, a força equivalente à soma das outras duas:  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ .

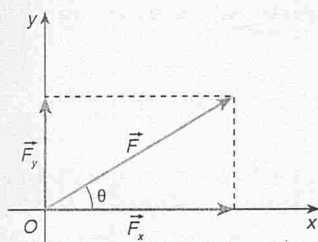


Figura 3.12



Figura 3.13 Duas forças em equilíbrio.

O método utilizado para a obtenção da força resultante  $\vec{F}$  é conhecido como **método do paralelogramo** e pode ser usado para se obter a soma de duas grandezas vetoriais quaisquer.

Podemos, ainda, a partir de uma dada força, obter suas componentes ortogonais  $\vec{F}_x$  e  $\vec{F}_y$ . (Fig. 3.12)

A trigonometria permite-nos obter:

$$F_x = F \cdot \cos \theta$$

$$F_y = F \cdot \sin \theta$$

A força resultante de duas forças é nula ( $\vec{F} = \vec{0}$ ) quando estas têm mesma direção e mesma intensidade, mas sentidos opostos. Dizemos, então, que as duas forças se equilibram. (Fig. 3.13)

Para, por exemplo, um carrinho de supermercado, inicialmente em repouso, entrar em movimento é necessário empurrá-lo. Para freá-lo também é necessário que uma força seja aplicada ao carrinho. Uma bola parada no chão só se move quando recebe uma pancada de outra bola ou de um pé; caso contrário, ela própria não pode alterar, por si só, sua velocidade ou se pôr em movimento.

Podemos, portanto, ampliar um pouco a noção intuitiva que temos sobre força e dizer que **força é o agente físico responsável por uma variação de velocidade do corpo**.

Pelo que vimos até agora, é intuitivo também perceber que a velocidade de um móvel qualquer só pode mudar devido à ação de um outro corpo sobre ele.

Mas qual é exatamente a conexão entre **força** e **movimento**?

Aristóteles acreditava que uma força era necessária para manter um objeto movimentando-se ao longo de um plano horizontal, e quanto maior a força maior seria a velocidade atingida pelo corpo.

Cerca de 2 mil anos mais tarde, Galileu realizou várias experiências para analisar o movimento dos corpos. Uma das mais famosas foi aquela em que fez uma bola de bronze, partindo do repouso, rolar por uma canaleta escavada em uma rampa de madeira, seguir em movimento por um plano horizontal e terminar por subir uma segunda rampa de madeira.



Durante a Idade Média, a Igreja adotou a visão de Aristóteles como parte de suas crenças oficiais. As pessoas que tinham crenças diferentes daquela eram consideradas sacrílegas.

O Renascimento trouxe uma nova atitude questionadora, não apenas na religião mas na ciência como um todo. Isso abriu as portas para o desenvolvimento da ciência moderna. Galileu foi um dos primeiros cientistas a demonstrar o valor da pesquisa quantitativa e do método científico.

Juntamente com seus colegas, faça uma pesquisa sobre a vida e a época de Galileu Galilei e seu impacto sobre o pensamento ocidental e o desenvolvimento da ciência moderna.

### Proposta experimental

Com este experimento, você pode comprovar o princípio da inércia. Para realizá-lo, precisará do seguinte material:

- uma cadeira com rodinhas nos pés;
- alguns blocos de madeira ou de plástico.

Comece empilhando os blocos sobre o assento da cadeira, próximos à borda. Em seguida, empurre a cadeira para a frente e, após percorrer uma pequena distância, pare repentinamente. O que acontece?

Recomece a experiência e, desta vez, após empilhar os blocos sobre o assento, inicie o movimento da cadeira empurrando-a bruscamente. O que acontece então?

Com base nos resultados deste experimento, procure explicar a função dos cintos de segurança e dos apoios de cabeça utilizados nos automóveis.

Galileu observou que, na segunda rampa, a bola atingia uma altura ligeiramente menor à que tinha quando da partida. Atribuiu essa pequena diferença de altura ao atrito existente entre a bola e o piso de madeira. Diminuiu, então, a inclinação da segunda rampa e observou que a bola continuava a atingir praticamente a mesma altura inicial, percorrendo uma distância maior. Tentou imaginar, então, o que aconteceria se pudesse eliminar completamente o atrito entre a bola e os pisos e tornar a segunda rampa pouco inclinada e, num caso extremo, torná-la horizontal. Chegou à conclusão de que a bola iria continuar se movimentando indefinidamente com velocidade constante, sem que nenhuma força fosse necessária para manter esse estado de movimento. (Fig. 3.14)

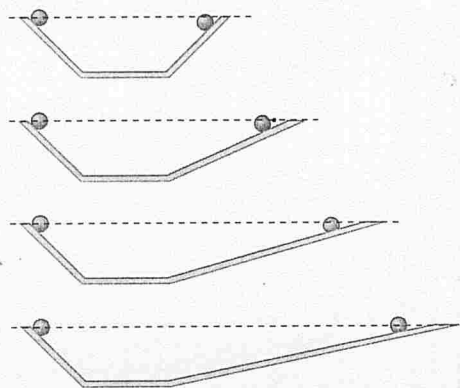


Figura 3.14 Etapas da experiência de Galileu.

Foi sobre essa conclusão de Galileu que Newton erigiu os fundamentos de sua grande teoria dos movimentos e que pode ser resumida em suas famosas "três leis do movimento". A análise dos movimentos feita por Newton foi publicada em 1687 em sua grande obra *Principia*, na qual ele agradece a contribuição de Galileu.

Na verdade, a **primeira lei de Newton** dos movimentos é muito semelhante à conclusão a que Galileu chegou. Ela estabelece que:

Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento em linha reta com velocidade escalar constante a menos que seja obrigado a alterar esse estado pela ação de uma força resultante externa.

Assim, se a força resultante sobre um corpo for nula, ou ele estará em repouso ou em movimento em linha reta com velocidade escalar constante.

A tendência de um corpo de manter seu estado de repouso ou de movimento retilíneo com velocidade constante é chamada **inércia**. Por esse motivo, a primeira lei de Newton também é conhecida como **princípio da inércia**. A massa de um corpo é a medida da sua inércia. Assim, quanto maior a massa de um corpo, maior é a sua inércia.

A indústria automobilística tem mostrado, nos últimos tempos, uma grande preocupação com a segurança dos ocupantes de um automóvel. Por esse motivo, os carros atualmente possuem diversos dispositivos de segurança que respeitam, principalmente, o princípio da inércia.

Em um choque frontal, os ocupantes de um carro, devido à inércia, tendem a continuar em movimento e podem, eventualmente, se chocar contra o pára-brisa, o volante ou, no caso dos passageiros que viajam no banco de trás, contra o banco. O cinto de segurança tem a finalidade de, nessas situações, aplicar força ao corpo do passageiro, diminuindo a sua velocidade.



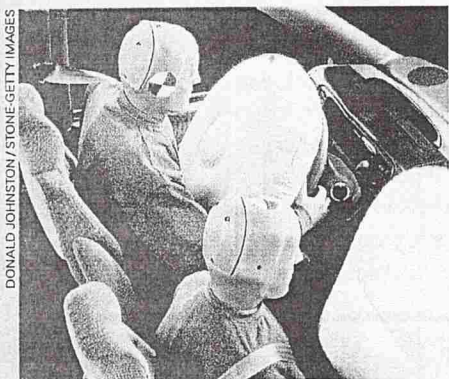


Figura 3.15 O boneco simula um ser humano durante um teste de colisão.

## EXERCÍCIOS

26 (UEPI) Assinale a alternativa que apresenta, ordenadamente, a seqüência de palavras que preenche corretamente as lacunas das frases abaixo.

Inércia é a propriedade pela qual nenhum corpo altera o seu estado de \_\_\_\_\_ ou de \_\_\_\_\_, a menos que uma força resultante externa atue sobre ele.

Podemos afirmar que a massa de um corpo é a medida de sua \_\_\_\_\_.

Se um corpo A possui massa maior que outro corpo B, então a inércia do corpo A é \_\_\_\_\_ que a de B.

- a) repouso – movimento acelerado – área – maior
- b) movimento – aceleração – inércia – menor
- c) movimento – repouso – área – menor
- d) equilíbrio – repouso – área – maior
- e) repouso – movimento retilíneo uniforme – inércia – maior

27 (U. C. Dom Bosco-RS) Três blocos estão submetidos, exclusivamente, a três forças não-nulas  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$ , como mostram as figuras I, II e III.

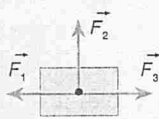


Figura I

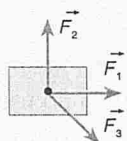


Figura II

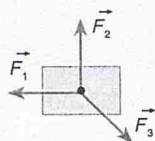


Figura III

Todas as forças têm direções que passam pelo centro do bloco. Se, em cada caso, os valores das forças forem adequadamente estabelecidos, o bloco poderá estar se deslocando com velocidade constante:

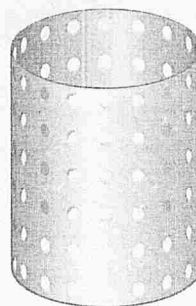
- a) em qualquer uma das situações apresentadas.
- b) apenas na situação I.
- c) apenas na situação II.
- d) apenas na situação III.
- e) apenas nas situações I e II.

28 (PUC-SP) Um animal puxa uma carroça e ela move-se em linha reta e com velocidade constante de 20 km/h. Sabendo

que a massa do animal é 400 kg e que a tração no cabo que o liga à carroça é de 1.000 N, podemos afirmar que a resultante das forças sobre a carroça é:

- a) 4.000 N
- b) 1.000 N
- c) 400 N
- d) 100 N
- e) nula

29 (U. F. Viçosa-MG) Em uma certa marca de máquina de lavar, as roupas ficam dentro de um cilindro oco que possui vários furos em sua parede lateral (veja a figura).



Depois que as roupas são lavadas, esse cilindro gira com alta velocidade no sentido indicado, a fim de que a água seja retirada das roupas. Olhando o cilindro de cima, indique a alternativa que possa representar a trajetória de uma gota de água que sai do furo A.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)



**30** (PUC-RJ) Você é passageiro num carro e, imprudentemente, não está usando o cinto de segurança. Sem variar o módulo da velocidade, o carro faz uma curva fechada para a esquerda e você se choca contra a porta do lado direito do carro. Considere as seguintes análises da situação:

- I. Antes e depois da colisão com a porta, há uma força para a direita empurrando você contra a porta.
- II. Por causa da lei de inércia, você tem a tendência de continuar em linha reta, de modo que a porta, que está fazendo uma

curva para a esquerda, exerce uma força sobre você para a esquerda, no momento da colisão.

III. Por causa da curva, sua tendência é cair para a esquerda.

Assinale a resposta correta:

- a) Nenhuma das análises é verdadeira.
- b) As análises II e III são verdadeiras.
- c) Somente a análise I é verdadeira.
- d) Somente a análise II é verdadeira.
- e) Somente a análise III é verdadeira.

## 5 EFEITOS DA ACELERAÇÃO

Se estivermos viajando dentro de uma cabine fechada de um trem com velocidade constante de 80 km/h ou no interior de um avião a 800 km/h, não sentiremos nenhuma diferença. Não podemos detectar velocidades, ou seja, nosso corpo não funciona como velocímetro.

Entretanto, o corpo humano é capaz de detectar variações de velocidade – ou acelerações – e funcionar como um acelerômetro. É essa capacidade de nossos corpos de detectar acelerações que torna os parques de diversão locais tão procurados.

Considere, por exemplo, um elevador que parte do repouso do térreo e movimenta-se para o último andar de um edifício. Suponha ainda que a velocidade do elevador varia, em função do tempo, de acordo com o gráfico. (Fig. 3.16)

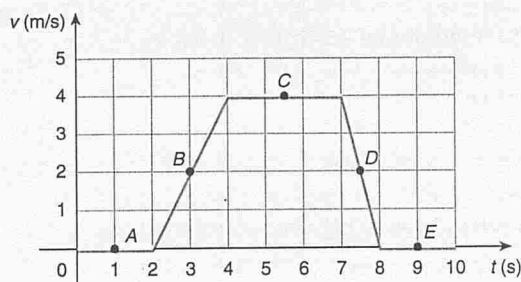


Figura 3.16 Velocidade do elevador em função do tempo.

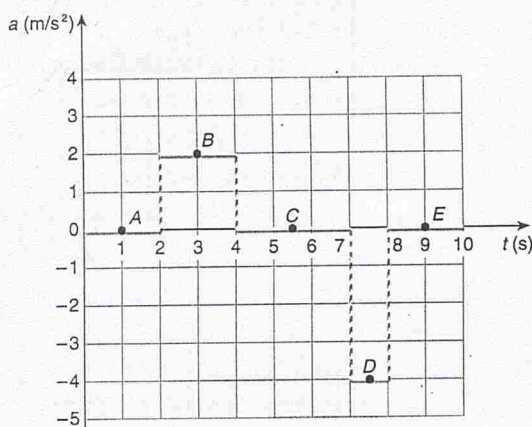


Figura 3.17 Aceleração do elevador em função do tempo.

Você seria capaz de se imaginar no interior desse elevador e dizer como seu corpo se sentiria ao reagir à aceleração em cada um dos cinco instantes (A, B, C, D e E) mostrados no gráfico?

Devido à aceleração, seu corpo parecerá ser comprimido ou esticado, dependendo do sentido da aceleração.

A partir do gráfico da *velocidade* em função do tempo, podemos obter o gráfico da *aceleração* em função do tempo. (Fig. 3.17)

De acordo com esse gráfico, entre 0 e 2 s, entre 4 s e 7 s e entre 8 s e 10 s, a aceleração do elevador é nula, ou seja, nesses intervalos de tempo a velocidade do elevador não se altera.

No intervalo de 2 s a 4 s, a aceleração do elevador é positiva, e isso indica que o vetor aceleração tem o mesmo sentido do vetor velocidade e, nesse caso, o elevador acelera.