

MEDIÇÃO

1

H O QUE É FÍSICA?

A ciência e a engenharia se baseiam em medições e comparações. Assim, precisamos de regras para estabelecer de que forma as grandezas devem ser medidas e comparadas e de experimentos para estabelecer as unidades para essas medições e comparações. Um dos propósitos da física (e também da engenharia) é projetar e executar esses experimentos.

Assim, por exemplo, os físicos se empenham em desenvolver relógios extremamente precisos para que intervalos de tempo possam ser medidos e comparados com exatidão. O leitor pode estar se perguntando se essa exatidão é realmente necessária. Eis um exemplo de sua importância: se não houvesse relógios extremamente precisos, o Sistema de Posicionamento Global (GPS — *Global Positioning System*), usado atualmente no mundo inteiro em uma infinidade de aplicações, não seria possível.

1-2 Medindo Grandezas

Descobrimos a física aprendendo a medir e comparar grandezas como comprimento, tempo, massa, temperatura, pressão e corrente elétrica.

Medimos cada grandeza física em unidades apropriadas, por comparação com um padrão. A unidade é um nome particular que atribuímos às medidas dessa grandeza. Assim, por exemplo, o metro (m) é uma unidade da grandeza comprimento. O padrão corresponde a exatamente 1,0 unidade da grandeza. Como veremos, o padrão de comprimento, que corresponde a exatamente 1,0 m, é a distância percorrida pela luz, no vácuo, durante uma certa fração de um segundo. Em princípio, podemos definir uma unidade e seu padrão da forma que quisermos, mas é importante que cientistas em diferentes partes do mundo concordem que nossas definições são ao mesmo tempo razoáveis e práticas.

Depois de escolher um padrão (de comprimento, digamos), precisamos estabelecer procedimentos através dos quais qualquer comprimento, seja ele o raio do átomo de hidrogênio, a largura de um skate, ou a distância de uma estrela, possa ser expresso em termos do padrão. Usar uma régua de comprimento aproximadamente igual ao padrão pode ser uma forma de executar medidas de comprimento. Entretanto, muitas comparações são necessariamente indiretas. É impossível usar uma régua, por exemplo, para medir o raio de um átomo ou a distância de uma estrela.

Existem tantas grandezas físicas que não é fácil organizá-las. Felizmente, não são todas independentes; a velocidade, por exemplo, é a razão entre as grandezas comprimento e tempo. Assim, o que fazemos é escolher, através de um acordo internacional, um pequeno número de grandezas físicas, como comprimento e tempo, e definir padrões apenas para essas grandezas. Em seguida, definimos as demais grandezas físicas em termos dessas *grandezas fundamentais* e de seus padrões (conhecidos como *padrões fundamentais*). A velocidade, por exemplo, é definida em termos das grandezas fundamentais comprimento e tempo e seus padrões fundamentais.

Os padrões fundamentais devem ser acessíveis e invariáveis. Se definirmos o padrão de comprimento como a distância entre o nariz de uma pessoa e a ponta do dedo indicador da mão direita com o braço estendido, temos um padrão acessível, mas que varia, obviamente, de pessoa para pessoa. A necessidade de precisão na ciência e engenharia nos força, em primeiro lugar, a buscar a invariabilidade. Só então nos

Tabela 1-1

Unidades de Três Grandezas Fundamentais do SI

Grandeza	Nome da Unidade	Símbolo da Unidade
Comprimento	metro	m
Tempo	segundo	s
Massa	quilograma	kg

preocupamos em produzir réplicas dos padrões fundamentais que sejam acessíveis a todos que precisem utilizá-los.

1-3 O Sistema Internacional de Unidades

Em 1971, na 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, foram selecionadas como fundamentais sete grandezas para constituir a base do Sistema Internacional de Unidades (SI), popularmente conhecido como *sistema métrico*. A Tabela 1-1 mostra as unidades das três grandezas fundamentais (comprimento, massa e tempo) que serão usadas nos primeiros capítulos deste livro. Essas unidades foram definidas de modo a serem da mesma ordem de grandeza que a “escala humana”.

Muitas *unidades derivadas* do SI são definidas em termos dessas unidades fundamentais. Assim, por exemplo, a unidade de potência do SI, chamada de **watt** (W), é definida em termos das unidades fundamentais de massa, comprimento e tempo. Como veremos no Capítulo 7,

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ W} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3, \quad (1-1)$$

onde o último conjunto de símbolos de unidades é lido como quilograma metro quadrado por segundo ao cubo.

Para expressar as grandezas muito grandes ou muito pequenas frequentemente encontradas na física, usamos a *notação científica*, que emprega potências de 10. Nessa notação,

$$3.560.000.000 \text{ m} = 3,56 \times 10^9 \text{ m} \quad (1-2)$$

$$0,000\,000\,492 \text{ s} = 4,92 \times 10^{-7} \text{ s}. \quad (1-3)$$

Nos computadores, a notação científica às vezes assume uma forma abreviada, como 3.56 E9 e 4.92 E-7, onde E é usado para designar o “expoente de dez”. Em algumas calculadoras, a notação é mais abreviada, com o E substituído por um espaço em branco.

Também por conveniência, quando lidamos com grandezas muito grandes ou muito pequenas, usamos os prefixos da Tabela 1-2. Como se pode ver, cada prefixo representa uma certa potência de 10, sendo usado como um fator multiplicativo. Incorporar um prefixo a uma unidade do SI tem o efeito de multiplicar a unidade pelo fator correspondente. Assim, podemos expressar uma certa potência elétrica como

$$1,27 \times 10^9 \text{ watts} = 1,27 \text{ gigawatt} = 1,27 \text{ GW} \quad (1-4)$$

ou um certo intervalo de tempo como

$$2,35 \times 10^{-9} \text{ s} = 2,35 \text{ nanosegundos} = 2,35 \text{ ns}. \quad (1-5)$$

Tabela 1-2

Prefixos das Unidades do SI

Fator	Prefixo ^a	Símbolo	Fator	Prefixo ^a	Símbolo
10^{24}	iota-	I	10^{-1}	deci-	d
10^{21}	zeta-	Z	10^{-2}	centi-	c
10^{18}	exa-	E	10^{-3}	milli-	m
10^{15}	peta-	P	10^{-6}	micro-	μ
10^{12}	tera-	T	10^{-9}	nano-	n
10^9	giga-	G	10^{-12}	píco-	p
10^6	mega-	M	10^{-15}	fento-	f
10^3	quilo-	Q	10^{-18}	ato-	a
10^2	hecto-	h	10^{-21}	zepto-	z
10^1	deca-	da	10^{-24}	iocto-	i

^a Os prefixos mais usados aparecem em negrito.

Alguns prefixos, como os usados em milímetro, centímetro, quilograma e megabyte, são provavelmente familiares para o leitor.

1-4 Mudança de Unidades

Muitas vezes, precisamos mudar as unidades nas quais uma grandeza física está expressa, o que pode ser feito usando um método conhecido como *conversão em cadeia*. Nesse método, multiplicamos o valor original por um **fator de conversão** (uma razão entre unidades que é igual à unidade). Assim, por exemplo, como 1 min e 60 s correspondem a intervalos de tempo iguais, temos:

$$\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1 \quad \text{e} \quad \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1.$$

Assim, as razões $(1 \text{ min})/(60 \text{ s})$ e $(60 \text{ s})/(1 \text{ min})$ podem ser usadas como fatores de conversão. Note que isso *não é* o mesmo que escrever $1/60 = 1$ ou $60 = 1$; cada número e sua unidade devem ser tratados conjuntamente.

Como a multiplicação de qualquer grandeza por um fator unitário deixa essa grandeza inalterada, podemos usar fatores de conversão sempre que isso for conveniente. No método de conversão em cadeia, usamos os fatores de conversão para cancelar unidades indesejáveis. Para converter 2 min em segundos, por exemplo, temos:

$$2 \text{ min} = (2 \text{ min})(1) = (2 \text{ min})\left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right) = 120 \text{ s.} \quad (1-6)$$

Se você introduzir um fator de conversão e as unidades indesejáveis não desaparecerem, inverta o fator e tente novamente. Nas conversões, as unidades obedecem às mesmas regras algébricas que os números e variáveis.

O Apêndice D apresenta fatores de conversão entre unidades de SI e unidades de outros sistemas, como as que ainda são usadas até hoje nos Estados Unidos. Os fatores de conversão estão expressos na forma “1 min = 60 s” e não como uma razão; cabe ao leitor escrever a razão na forma correta.

1-5 Comprimento

Em 1792, a recém-criada República da França criou um novo sistema de pesos e medidas. A base era o metro, definido como um décimo milionésimo da distância entre o polo norte e o equador. Mais tarde, por motivos práticos, esse padrão foi abandonado e o metro passou a ser definido como a distância entre duas linhas finas gravadas perto das extremidades de uma barra de platina-irídio, a **barra do metro padrão**, mantida no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, nas vizinhanças de Paris. Réplicas precisas dessa barra foram enviadas a laboratórios de padronização em várias partes do mundo. Esses **padrões secundários** foram usados para produzir outros padrões, mais acessíveis, de tal forma que, no final, todos os instrumentos de medição de comprimento estavam relacionados à barra do metro padrão por meio de uma complicada cadeia de comparações.

Com o passar do tempo, um padrão mais preciso que a distância entre duas finas ranhuras em uma barra de metal se tornou necessário. Em 1960, foi adotado um novo padrão para o metro, baseado no comprimento de onda da luz. Especificamente, o metro foi redefinido como 1.650.763,73 comprimentos de onda de uma certa luz vermelho-alaranjada emitida por átomos de criptônio 86 (um isótopo do criptônio) em um tubo de descarga de gás. Esse número de comprimentos de onda aparentemente estranho foi escolhido para que o novo padrão não fosse muito diferente do que era definido pela antiga barra do metro padrão.

Em 1983, entretanto, a necessidade de maior precisão havia alcançado tal ponto que mesmo o padrão do criptônio 86 já não era suficiente e, por isso, foi dado um passo audacioso: o metro foi redefinido como a distância percorrida pela luz em um

intervalo de tempo especificado. Nas palavras da 17^a Conferência Geral de Pesos e Medidas:

 O metro é a distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299.792.458 de segundo.

Esse intervalo de tempo foi escolhido para que a velocidade da luz c fosse exatamente

$$c = 299.792.458 \text{ m/s.}$$

Como as medidas da velocidade da luz haviam se tornado extremamente precisas, fazia sentido adotar a velocidade da luz como uma grandeza definida e usá-la para redefinir o metro.

A Tabela 1-3 mostra uma vasta gama de comprimentos, que vai desde o tamanho do universo conhecido (linha de cima) até o tamanho de alguns objetos muito pequenos.

Tabela 1-3

Alguns Comprimentos Aproximados

Descrição	Comprimento em Metros
Distância das galáxias mais antigas	2×10^{26}
Distância da galáxia de Andrômeda	2×10^{22}
Distância da estrela mais próxima, Proxima Centauri	4×10^{11}
Distância de Plutão	6×10^{12}
Raio da Terra	6×10^6
Altura do Monte Everest	9×10^3
Espessura desta página	1×10^{-4}
Comprimento de um vírus típico	1×10^{-8}
Raio do átomo de hidrogênio	5×10^{-11}
Raio do próton	1×10^{-15}

Exemplo

Estimativa de ordem de grandeza: novelo de linha

O maior novelo do mundo tem cerca de 2 m de raio. Qual é a ordem de grandeza do comprimento L do fio que forma o novelo?

IDEIA-CHAVE

Poderíamos, evidentemente, desenrolar o novelo e medir o comprimento L do fio, mas isso daria muito trabalho, além de deixar o fabricante do novelo muito aborrecido. Em vez disso, como estamos interessados apenas na ordem de grandeza, podemos estimar as grandezas necessárias para fazer o cálculo.

Cálculos Vamos supor que o novelo seja uma esfera de raio $R = 2 \text{ m}$. O fio do novelo certamente não está apertado (existem espaços vazios entre trechos vizinhos do fio). Para levar em conta esses espaços vazios, vamos superestimar um pouco a área de seção transversal do fio, supondo que seja quadrada, com lados de comprimento $d = 4 \text{ mm}$.

Nesse caso, com área da seção reta d^2 e comprimento L , a corda ocupa um volume total de

$$V = (\text{área da seção reta})(\text{comprimento}) = d^2 L.$$

Esse valor é aproximadamente igual ao volume do novelo, dado por $4\pi R^3/3$, que é quase igual a $4R^3$, já que π é quase igual a 3. Assim, temos:

$$\begin{aligned} d^2 L &= 4R^3, \\ \text{ou } L &= \frac{4R^3}{d^2} = \frac{4(2 \text{ m})^3}{(4 \times 10^{-3} \text{ m})^2} \\ &= 2 \times 10^6 \text{ m} \approx 10^6 \text{ m} = 10^3 \text{ km}. \end{aligned}$$

(Resposta)

(Note que não é preciso usar uma calculadora para realizar um cálculo simples como este.) A ordem de grandeza do comprimento do fio é, portanto, 1000 km!

1-6 Tempo

O tempo tem dois aspectos. No dia a dia e para alguns fins científicos, queremos saber a hora do dia para podermos ordenar eventos em sequência. Em muitos trabalhos científicos, estamos interessados em conhecer a duração de um evento. Assim, qualquer padrão de tempo deve ser capaz de responder a duas perguntas: “*Quando* isso aconteceu?” e “*Quanto tempo* isso durou?” A Tabela 1-4 mostra alguns intervalos de tempo.

Tabela 1-4

Alguns Intervalos de Tempo Aproximados

Descrição	Intervalo de Tempo em Segundos
Tempo de vida do próton (teórico)	3×10^{40}
Idade do universo	5×10^{17}
Idade da pirâmide de Quéops	1×10^{11}
Expectativa de vida de um ser humano	2×10^9
Duração de um dia	9×10^4
Intervalo entre duas batidas de um coração humano	8×10^{-1}
Tempo de vida do muon	2×10^{-6}
Pulso luminoso mais curto obtido em laboratório	1×10^{-16}
Tempo de vida da partícula mais instável	1×10^{-23}
Tempo de Planck ^a	1×10^{-43}

^aTempo decorrido após o big bang a partir do qual as leis de física que conhecemos passaram a ser válidas.

Qualquer fenômeno repetitivo pode ser usado como padrão de tempo. A rotação da Terra, que determina a duração do dia, foi usada para esse fim durante séculos; a Fig. 1-1 mostra um exemplo interessante de relógio baseado nessa rotação. Um relógio de quartzo, no qual um anel de quartzo é posto em vibração contínua, pode ser sincronizado com a rotação da Terra por meio de observações astronômicas e usado para medir intervalos de tempo no laboratório. Entretanto, a calibração não pode ser realizada com a exatidão exigida pela tecnologia moderna da engenharia e da ciência.

Para atender à necessidade de um melhor padrão de tempo, foram desenvolvidos relógios atômicos. Um relógio atômico do National Institute of Standards and Technology (NIST) em Boulder, Colorado, EUA, é o padrão da Hora Coordenada Universal (UTC) nos Estados Unidos. Seus sinais de tempo estão disponíveis através de ondas curtas de rádio (estações WWV e WWVH) e por telefone (303-499-7111). Sinais de tempo (e informações relacionadas) estão também disponíveis no United States Naval Observatory no site <http://tycho.usno.navy.mil/time.html>.* (Para acertar um relógio de forma extremamente precisa no local onde você se encontra, seria necessário levar em conta o tempo necessário para que esses sinais cheguem até você.)

A Fig. 1-2 mostra as variações da duração de um dia na Terra durante um período de quatro anos, obtidas por comparação com um relógio atômico de césio. Como a variação mostrada na Fig. 1-2 é sazonal e repetitiva, desconfiamos da rotação da Terra quando existe uma diferença entre a Terra e um átomo como padrões de tempo. A variação se deve a efeitos de maré causados pela Lua e pela circulação atmosférica.

Em 1967, a 13^a Conferência Geral de Pesos e Medidas adotou como padrão de tempo um segundo com base no relógio de césio:

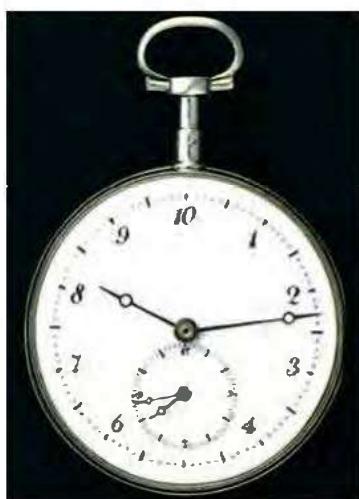
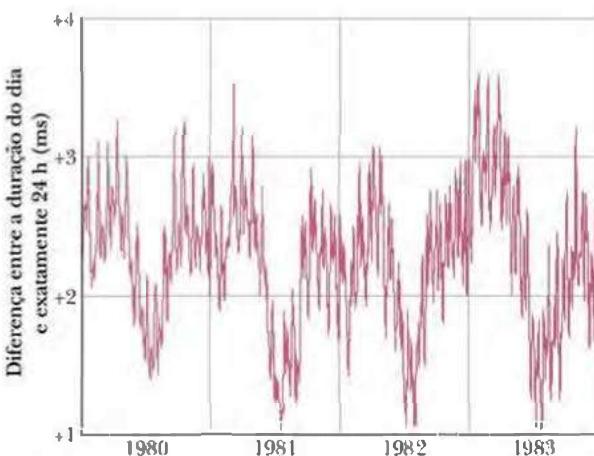


Figura 1-1 Quando o sistema métrico foi proposto em 1792, a definição de hora foi mudada para que o dia tivesse 10 horas, mas a ideia não pegou. O fabricante deste relógio de 10 horas, prudentemente, incluiu um mostrador menor que indicava o tempo da forma convencional. Os dois mostradores indicam a mesma hora? (Steven Pitkin)

* O Observatório Nacional fornece a hora legal brasileira no site [\(N.T.\)](http://pcdsh01.on.br)

Figura 1-2 Variações da duração do dia em um período de 4 anos. Note que a escala vertical inteira corresponde a apenas 3 ms (0,003 s).



Um segundo é o intervalo de tempo que corresponde a 9.192.631.770 oscilações da luz (de um comprimento de onda especificado) emitida por um átomo de césio 133.

Os relógios atômicos são tão estáveis que, em princípio, dois relógios de césio teriam que funcionar por 6000 anos para que a diferença entre as leituras fosse maior que 1 s. Mesmo assim, essa precisão não é nada em comparação com a dos relógios que estão sendo construídos atualmente, que pode chegar a 1 parte em 10^{18} , ou seja, 1 s em 1×10^{18} s (cerca de 3×10^{10} anos).

1-7 Massa

O Quilograma-Padrão

O padrão de massa do SI é um cilindro de platina-irídio (Fig. 1-3) mantido no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, nas proximidades de Paris, ao qual foi atribuída, por acordo internacional, a massa de 1 quilograma. Cópias precisas desse cilindro foram enviadas a laboratórios de padronização de outros países e as massas de outros corpos podem ser determinadas comparando-os com uma dessas cópias. A Tabela 1-5 mostra algumas massas expressas em quilogramas, em uma faixa de aproximadamente 83 ordens de grandeza.

A cópia norte-americana do quilograma-padrão está guardada em um cofre do NIST e é removida, não mais do que uma vez por ano, para aferir duplicatas usadas em outros lugares. Desde 1889, foi levada para a França duas vezes para comparação com o padrão primário.



Figura 1-3 O quilograma-padrão internacional de massa, um cilindro de platina-irídio com 3,9 cm de altura e 3,9 cm de diâmetro. (Cortesia do Bureau International de Pesos e Medidas, França)

Um Segundo Padrão de Massa

As massas dos átomos podem ser comparadas entre si mais precisamente que com o quilograma-padrão. Por essa razão, temos um segundo padrão de massa, o átomo de carbono 12, ao qual, por acordo internacional, foi atribuída uma massa de 12 **unidades de massa atômica** (u). A relação entre as duas unidades é a seguinte:

$$1 \text{ } u = 1,660\,538\,86 \times 10^{-27} \text{ kg}, \quad (1-7)$$

com uma incerteza de ± 10 nas duas últimas casas decimais. Os cientistas podem determinar experimentalmente, com razoável precisão, as massas de outros átomos em relação à massa do carbono 12. O que nos falta no momento é uma forma confiável de estender tal precisão a unidades de massa mais comuns, como o quilograma.

Massa Específica

Como vamos ver no Capítulo 14, a **massa específica** ρ de uma substância é a massa por unidade de volume:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1-8)$$

As massas específicas são normalmente expressas em quilogramas por metro cúbico ou em gramas por centímetro cúbico. A massa específica da água (1,00 grama por centímetro cúbico) é muito usada para fins de comparação. A massa específica da neve fresca é 10% da massa específica da água; a da platina é 21 vezes maior que a da água.

Tabela 1-5

Algumas Massas Aproximadas

Descrição	Massa em Quilogramas
Universo conhecido	1×10^{43}
Nossa galáxia	2×10^{41}
Sol	2×10^{30}
Lua	7×10^{22}
Asteróide Eros	5×10^{15}
Montanha pequena	1×10^{12}
Transatlântico	7×10^7
Elefante	5×10^3
Uva	3×10^{-3}
Grão de poeira	7×10^{-10}
Molécula de penicilina	5×10^{-17}
Átomo de urânio	4×10^{-25}
Próton	2×10^{-27}
Elétron	9×10^{-31}

Exemplo

Massa específica e liquefação

Um objeto pesado pode afundar no solo durante um terremoto se o tremor faz com que o solo passe por um processo de *liquefação*, no qual as partículas do solo deslizam umas em relação às outras quase sem atrito. Nesse caso, o solo se torna praticamente uma areia movediça. A possibilidade de liquefação de um solo arenoso pode ser prevista em termos do *índice de vazios* de uma amostra do solo, representado pelo símbolo e e definido da seguinte forma:

$$e = \frac{V_v}{V_g}. \quad (1-9)$$

onde V_g é o volume total das partículas de areia na amostra e V_v é o volume total do espaço entre as partículas (isto é, dos *vazios*). Se e excede o valor crítico de 0,80, pode ocorrer liquefação durante um terremoto. Qual é a massa específica da areia, ρ_a , correspondente ao valor crítico? A massa específica do dióxido de silício (principal componente da areia) é $\rho_{\text{SiO}_2} = 2,600 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

IDEIA-CHAVE

A massa específica da areia ρ_a em uma amostra é a massa por unidade de volume, ou seja, a razão entre a massa total m_a das partículas de areia e o volume total V_t da amostra:

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_t}. \quad (1-10)$$

Cálculos O volume total V_t de uma amostra é dado por

$$V_t = V_g + V_v.$$

Substituindo V_v pelo seu valor, dado pela Eq. 1-9, e expli- citando V_g , obtemos:

$$V_g = \frac{V_t}{1+e}. \quad (1-11)$$

De acordo com a Eq. 1-8, a massa total m_a das partículas de areia é o produto da massa específica do dióxido de silício pelo volume total das partículas de areia:

$$m_a = \rho_{\text{SiO}_2} V_g. \quad (1-12)$$

Substituindo esta expressão na Eq. 1-10 e substituindo V_g pelo seu valor, dado pela Eq. 1-11, obtemos:

$$\rho_a = \frac{\rho_{\text{SiO}_2}}{V_t} \frac{V_t}{1+e} = \frac{\rho_{\text{SiO}_2}}{1+e}. \quad (1-13)$$

Fazendo $\rho_{\text{SiO}_2} = 2,600 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e $e = 0,80$ nesta equação, descobrimos que a liquefação acontece quando a massa específica da areia é menor que

$$\rho_a = \frac{2,600 \times 10^3 \text{ kg/m}^3}{1,80} = 1,4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3.$$

(Resposta)

Um edifício pode afundar vários metros por causa da liquefação.

REVISÃO E RESUMO

A Medição na Física A física se baseia na medição de grandezas físicas. Algumas grandezas físicas, como comprimento, tempo e massa, foram escolhidas como **grandezas fundamentais**; cada uma foi definida através de um **padrão** e recebeu uma **unidade de medida** (como metro, segundo e quilograma). Outras grandezas físicas são definidas em termos das grandezas fundamentais e de seus padrões e unidades.

Unidades do SI O sistema de unidades adotado neste livro é o Sistema Internacional de Unidades (SI). As três grandezas físicas mostradas na Tabela 1-1 são usadas nos primeiros capítulos. Os padrões, que têm que ser acessíveis e invariáveis, foram estabelecidos para essas grandezas fundamentais por um acordo internacional. Esses padrões são usados em todas as medições físicas, tanto das grandezas fundamentais quanto das grandezas secundárias. A notação científica e os prefixos da Tabela 1-2 são usados para simplificar a notação das medições.

Mudança de Unidades A conversão de unidades pode ser feita usando o método de *conversão em cadeia*, no qual os dados originais são multiplicados sucessivamente por fatores de conversão unitários

e as unidades são manipuladas como quantidades algébricas até que apenas as unidades desejadas permaneçam.

Comprimento O metro é definido como a distância percorrida pela luz durante um intervalo de tempo especificado.

Tempo O segundo é definido em termos das oscilações da luz emitida por um isótopo de um certo elemento químico (césio 133). Sinais de tempo precisos são enviados a todo o mundo por sinais de rádio sincronizados por relógios atômicos em laboratórios de padronização.

Massa O quilograma é definido em termos de um padrão de massa de platina-íridio mantido em um laboratório nas vizinhanças de Paris. Para medições em escala atômica, é comumente usada a unidade de massa atômica, definida em termos do átomo de carbono 12.

Massa específica A massa específica ρ de uma substância é a massa por unidade de volume:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1-8)$$

P R O B L E M A S

• • • O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

 Informações adicionais disponíveis em *O Círculo Voador da Física* de Jearl Walker, LTC, Rio de Janeiro, 2008.

Seção 1-5 Comprimento

•1 A Terra tem a forma aproximada de uma esfera com $6,37 \times 10^6$ m de raio. Determine (a) a circunferência da Terra em quilômetros, (b) a área da superfície da Terra em quilômetros quadrados e (c) o volume da Terra em quilômetros cúbicos.

•2 O *gry* é uma antiga medida inglesa de comprimento, definida como 1/10 de uma linha; *linha* é outra medida inglesa de comprimento, definida como 1/12 de uma polegada. Uma medida de comprimento usada nas gráficas é o *ponto*, definido como 1/72 de uma polegada. Quanto vale uma área de 0,50 gry² em pontos quadrados (pontos²)?

•3 O micrômetro ($1 \mu\text{m}$) também é chamado de *mícron*. (a) Quantos mícrons tem 1,0 km? (b) Que fração do centímetro é igual a $1,0 \mu\text{m}$? (c) Quantos mícrons tem uma jarda?

•4 As dimensões das letras e espaços neste livro são expressas em termos de pontos e paicas: 12 pontos = 1 paica e 6 paicas = 1 polegada. Se em uma das provas do livro uma figura apareceu deslocada de 0,80 cm em relação à posição correta, qual foi o deslocamento (a) em paicas e (b) em pontos?

•5 Em um certo hipódromo da Inglaterra, um páreo foi disputado em uma distância de 4,0 furlongs. Qual é a distância da corrida em (a) varas e (b) cadeias? (1 furlong = 201,168 m, 1 vara = 5,0292 m e uma cadeia = 20,117 m.)

•6 Hoje em dia, as conversões de unidades mais comuns podem ser feitas como auxílio de calculadoras e computadores, mas é importante que o aluno saiba usar uma tabela de conversão como as do Apêndice D. A Tabela 1-4 é parte de uma tabela de conversão para um sistema de medidas de volume que já foi comum na Espanha; um volume de 1 fanega equivale a 55,501 dm³ (decímetros

cúbicos). Para completar a tabela, que números (com três algarismos significativos) devem ser inseridos (a) na coluna de cabizes, (b) na coluna de fanegas, (c) na coluna de cuartillas e (d) na coluna de almudes? Expressse 7,00 almudes em (e) medios, (f) cahizes e (g) centímetros cúbicos (cm³).

Tabela 1-6

Problema 6

	cahiz	fanega	cuartilla	almude	medio
1 cahiz =	1	12	48	144	288
1 fanega =		1	4	12	24
1 cuartilla =			1	3	6
1 almude =				1	2
1 medio =					1

•7 Os engenheiros hidráulicos dos Estados Unidos usam frequentemente, como unidade de volume de água, o *acre-pé*, definido como o volume de água necessário para cobrir 1 acre de terra até uma profundidade de 1 pé. Uma forte tempestade despejou 2,0 polegadas de chuva em 30 min em uma cidade com uma área de 26 km². Que volume de água, em acres-pés, caiu sobre a cidade?

•8 A ponte de Harvard, que atravessa o rio Charles, ligando Cambridge a Boston, tem um comprimento de 364,4 smoots mais uma orelha. A unidade chamada de smoot tem como padrão a altura de Oliver Reed Smoot, Jr., classe de 1962, que foi carregado ou arrastado pela ponte para que outros membros da sociedade estudantil Lambda Chi Alpha pudessem marcar (com tinta) comprimentos de

1 smoot ao longo da ponte. As marcas têm sido refeitas semestralmente por membros da sociedade, normalmente em horários de pico, para que a polícia não possa interferir facilmente. (Inicialmente, os policiais talvez tivessem se ressentido do fato de que o smoot não era uma unidade fundamental do SI, mas hoje parecem conformados com a brincadeira.) A Fig. 1-4 mostra três segmentos de reta paralelos medidos em smoots (S), willies (W), e zeldas (Z). Quanto vale uma distância de 50,0 smoots (a) em willies e (b) em zeldas?



Figura 1-4 Problema 8.

- 9 A Antártica é aproximadamente semicircular, com um raio de 2000 km (Fig. 1-5). A espessura média da cobertura de gelo é 3000 m. Quantos centímetros cúbicos de gelo contém a Antártica? (Ignore a curvatura da Terra.)



Figura 1-5 Problema 9.

Seção 1-6 Tempo

- 10 Até 1913, cada cidade do Brasil tinha sua hora local. Hoje em dia, os viajantes acertam o relógio apenas quando a variação de tempo é igual a 1,0 h (o que corresponde a um fuso horário). Que distância, em média, uma pessoa deve percorrer, em graus de longitude, para passar de um fuso horário a outro e ter que acertar o relógio? (Sugestão: a Terra gira 360° em aproximadamente 24 h.)

- 11 Por cerca de 10 anos após a Revolução Francesa, o governo francês tentou basear as medidas de tempo em múltiplos de dez: uma semana tinha 10 dias, um dia tinha 10 horas, uma hora consistia em 100 minutos e um minuto consistia em 100 segundos. Quais são as razões (a) da semana decimal francesa para a semana comum e (b) do segundo decimal francês para o segundo comum?

- 12 A planta de crescimento mais rápido de que se tem notícia é uma *Hesperoyucca whipplei* que cresceu 3,7 m em 14 dias. Qual foi a velocidade de crescimento da planta em micrômetros por segundo?

- 13 Três relógios digitais, A, B e C, funcionam com velocidades diferentes e não têm leituras simultâneas de zero. A Fig. 1-6 mostra leituras simultâneas de pares dos relógios em quatro ocasiões. (Na primeira ocasião, por exemplo, B indica 25,0 s e C indica 92,0 s.) Se o intervalo entre dois eventos é 600 s de acordo com o relógio A, qual é o intervalo entre os eventos (a) no relógio B e (b) no relógio C? (c) Quando o relógio A indica 400 s, qual é a indicação do relógio B? (d) Quando o relógio C indica 15,0 s, qual é a indicação do relógio B? (Suponha que as leituras sejam negativas para instantes anteriores a zero.)

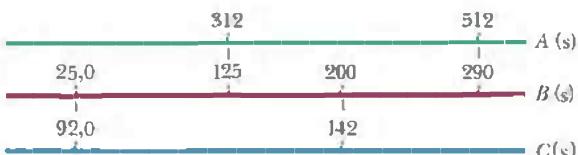


Figura 1-6 Problema 13.

- 14 Um tempo de aula (50 min) é aproximadamente igual a 1 m icrosséculo. (a) Qual é a duração de um microsséculo em minutos? (b) Usando a relação

$$\text{erro percentual} = \left(\frac{\text{real} - \text{aproximado}}{\text{real}} \right) 100,$$

determine o erro percentual dessa aproximação.

- 15 O fortnight é uma curiosa medida inglesa de tempo igual a 2,0 semanas (a palavra é uma contração de “fourteen nights”, ou seja, quatorze noites). Dependendo da companhia, esse tempo pode passar depressa ou transformar-se em uma interminável sequência de microssegundos. Quantos microssegundos tem um fortnight?

- 16 Os padrões de tempo são baseados atualmente em relógios atômicos, mas outra possibilidade seria usar os *pulsares*, estrelas de nêutrons (estrelas altamente compactas, compostas apenas de nêutrons) que possuem um movimento de rotação. Alguns pulsares giram com velocidade constante, produzindo um sinal de rádio que passa pela superfície da Terra uma vez a cada rotação, como o feixe luminoso de um farol. O pulsar PSR 1937+21 é um exemplo; ele gira uma vez a cada 1,557 806 448 872 75 ± 3 ms, onde o símbolo ± 3 indica a incerteza na última casa decimal (e não ± 3 ms). (a) Quantas rotações o PSR 1937+21 executa em 7,00 dias? (b) Quanto tempo o pulsar leva para girar exatamente um milhão de vezes e (c) qual é a incerteza associada?

- 17 Cinco relógios estão sendo testados em um laboratório. Exatamente ao meio-dia, de acordo com o Observatório Nacional, em dias sucessivos da semana, as leituras dos relógios foram anotadas na tabela a seguir. Coloque os relógios em ordem de confiabilidade, começando pelo melhor. Justifique sua escolha.

Relógio	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
A	12:36:40	12:36:56	12:37:12	12:37:27	12:37:44	12:37:59	12:38:14
B	11:59:59	12:00:02	11:59:57	12:00:07	12:00:02	11:59:56	12:00:03
C	15:50:45	15:51:43	15:52:41	15:53:39	15:54:37	15:55:35	15:56:33
D	12:03:59	12:02:52	12:01:45	12:00:38	11:59:31	11:58:24	11:57:17
E	12:03:59	12:02:49	12:01:54	12:01:52	12:01:32	12:01:22	12:01:12

- 18 Como a velocidade de rotação da Terra está diminuindo gradualmente, a duração dos dias está aumentando: o dia no final de 1,0 século é 1,0 ms mais longo que o dia no início do século. Qual é o aumento da duração do dia após 20 séculos?

- 19 Suponha que você esteja deitado na praia, perto do Equador, vendo o Sol se pôr em um mar calmo, e liga um cronômetro no momento em que o Sol desaparece. Em seguida, você se levanta, desloca os olhos para cima de uma distância $H = 1,70$ m, e desliga o cronômetro no momento em que o Sol volta a desaparecer. Se o tempo indicado pelo cronômetro é $t = 11,1$ s, qual é o raio da Terra?

Seção 1-7 Massa

- 20 O recorde para a maior garrafa de vidro foi estabelecido em 1992 por uma equipe de Millville, Nova Jersey, que soprou uma garrafa com um volume de 193 galões americanos. (a) Qual é a diferença entre esse volume e 1,0 milhão de centímetros cúbicos? (b) Se a garrafa fosse enchida com água a uma vazão de 1,8 g/min, em quanto tempo estaria cheia? A massa específica da água é 1000 kg/m^3 .

- 21 A Terra tem uma massa de $5,98 \times 10^{24}$ kg. A massa média dos átomos que compõem a Terra é 40 u. Quantos átomos existem na Terra?

•22 O ouro, que tem uma massa específica de $19,32 \text{ g/cm}^3$, é um metal extremamente dúctil e maleável, isto é, pode ser transformado em fios ou folhas muito finas. (a) Se uma amostra de ouro, com uma massa de $27,63 \text{ g}$, é prensada até se tornar uma folha com $1,000 \mu\text{m}$ de espessura, qual é a área dessa folha? (b) Se, em vez disso, o ouro é transformado em um fio cilíndrico com $2,500 \mu\text{m}$ de raio, qual é o comprimento do fio?

•23 (a) Supondo que a água tenha uma massa específica de exatamente 1 g/cm^3 , determine a massa de um metro cúbico de água em quilogramas. (b) Suponha que sejam necessárias $10,0 \text{ h}$ para drenar um recipiente com 5700 m^3 de água. Qual é a “vazão mássica” da água do recipiente, em quilogramas por segundo?

•24 Os grãos de areia das praias da Califórnia são aproximadamente esféricos, com um raio de $50 \mu\text{m}$, e são feitos de dióxido de silício, que tem uma massa específica de 2600 kg/m^3 . Que massa de grãos de areia possui uma área superficial total (soma das áreas de todas as esferas) igual à área da superfície de um cubo com $1,00 \text{ m}$ de aresta?

•25 Durante uma tempestade, parte da encosta de uma montanha, com $2,5 \text{ km}$ de largura, $0,80 \text{ km}$ de altura ao longo da encosta e $2,0 \text{ m}$ de espessura, desliza até um vale em uma avalanche de lama. Suponha que a lama fique distribuída uniformemente em uma área quadrada do vale com $0,40 \text{ km}$ de lado e que a lama tem uma massa específica de 1900 kg/m^3 . Qual é a massa da lama existente em uma área de $4,0 \text{ m}^2$ do vale?

•26 Em um centímetro cúbico de uma nuvem cúmulo típica existem de 50 a 500 gotas d'água, com um raio típico de $10 \mu\text{m}$. Para essa faixa de valores, determine os valores mínimo e máximo, respectivamente, das seguintes grandezas: (a) número de metros cúbicos de água em uma nuvem cúmulo cilíndrica com $3,0 \text{ km}$ de altura e $1,0 \text{ km}$ de raio; (b) número de garrafas de 1 litro que podem ser enchidas com essa quantidade de água; (c) a massa da água contida nessa nuvem, sabendo que a massa específica da água é 1000 kg/m^3 .

•27 A massa específica do ferro é $7,87 \text{ g/cm}^3$ e a massa de um átomo de ferro é $9,27 \times 10^{-26} \text{ kg}$. Se os átomos são esféricos e estão densamente compactados, (a) qual é o volume de um átomo de ferro e (b) qual é a distância entre os centros de dois átomos vizinhos?

•28 Um mol de átomos contém $6,02 \times 10^{23}$ átomos. Qual é a ordem de grandeza do número de mols de átomos que existem em um gato grande? As massas de um átomo de hidrogênio, de um átomo de oxigênio e de um átomo de carbono são $1,0 \text{ u}$, 16 u e 12 u , respectivamente.

•29 Em uma viagem à Malásia, você não resiste à tentação e compra um touro que pesa $28,9$ piculs no sistema local de unidades de peso: $1 \text{ picul} = 100 \text{ gins}$, $1 \text{ gin} = 16 \text{ tahils}$, $1 \text{ tahil} = 10 \text{ chees}$ e $1 \text{ chee} = 10 \text{ hoons}$. O peso de 1 hoon corresponde a uma massa de $0,3779 \text{ g}$. Quando você despacha o boi para casa, que massa deve declarar à alfândega? (Sugestão: use conversões em cadeia.)

•30 Despeja-se água em um recipiente que apresenta um vazamento. A massa m de água no recipiente em função do tempo t é dada por $m = 5,00t^{\frac{1}{2}} - 3,00t + 20,00$ para $t \geq 0$, onde a massa está em gramas e o tempo em segundos. (a) Em que instante a massa de água é máxima? (b) Qual é o valor dessa massa? Qual é a taxa de variação da massa, em quilogramas por minuto, (c) em $t = 2,00 \text{ s}$ e (d) em $t = 5,00 \text{ s}$?

•31 Um recipiente vertical cuja base mede $14,0 \text{ cm}$ por $17,0 \text{ cm}$ está sendo enchido com barras de chocolate que possuem um volume de 50 mm^3 e uma massa de $0,0200 \text{ g}$. Suponha que o espaço vazio

entre as barras de chocolate seja tão pequeno que pode ser desprezado. Se a altura das barras de chocolate no recipiente aumenta à taxa de $0,250 \text{ cm/s}$, qual é a taxa de aumento da massa das barras de chocolate que estão no recipiente em quilogramas por minuto?

Problemas Adicionais

32 Nos Estados Unidos, uma casa de boneca tem uma escala de $1:12$ em relação a uma casa de verdade (ou seja, cada distância na casa de boneca é $1/12$ da distância correspondente na casa de verdade) e uma casa em miniatura (uma casa de boneca feita para caber em uma casa de boneca) tem uma escala de $1:144$ em relação a uma casa de verdade. Suponha que uma casa de verdade (Fig. 1-7) tenha 20 m de comprimento, 12 m de largura, $6,0 \text{ m}$ de altura, e um telhado inclinado padrão (com o perfil de um triângulo isósceles) de $3,0 \text{ m}$ de altura. Qual é o volume, em metros cúbicos, (a) da casa de bonecas e (b) da casa em miniatura correspondente?

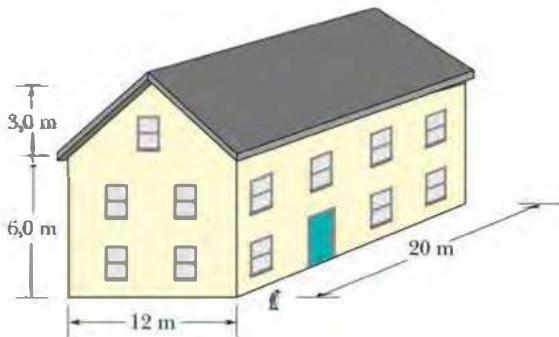


Figura 1-7 Problema 32.

33 A tonelada é uma medida de volume frequentemente empregada no transporte de mercadorias, mas seu uso requer uma certa cautela, pois existem pelo menos três tipos de tonelada: uma *tonelada de deslocamento* é igual a 7 barrels bulk , uma *tonelada de frete* é igual a 8 barrels bulk , e uma *tonelada de registro* é igual a 20 barrels bulk . O *barrel bulk* é outra medida de volume: $1 \text{ barrel bulk} = 0,1415 \text{ m}^3$. Suponha que você esteja analisando um pedido de “ 73 toneladas” de chocolate M&M e tenha certeza de que o cliente que fez a encomenda usou “tonelada” como unidade de volume (e não de peso ou de massa, como será discutido no Capítulo 5). Se o cliente estava pensando em toneladas de deslocamento, quantos alqueires norte-americanos em excesso você vai despachar se interpretar equivocadamente o pedido como (a) 73 toneladas de frete e (b) 73 toneladas de registro? ($1 \text{ m}^3 = 28,378$ alqueires norte-americanos.)

34 Dois tipos de *barril* foram usados como unidades de volume na década de 1920 nos Estados Unidos. O barril de maçã tinha um volume oficial de 7056 polegadas cúbicas; o barril de cranberry, 5826 polegadas cúbicas. Se um comerciante vende 20 barris de cranberry a um freguês que pensa estar recebendo barris de maçã, qual é a diferença de volume em litros?

35 Uma antiga poesia infantil inglesa diz o seguinte: “Little Miss Muffet sat on a tuffet, eating her curds and whey, when along came a spider who sat down beside her ...” (“A pequena Miss Muffet estava sentada em um banquinho, comendo queijo cottage, quando chegou uma aranha e sentou-se ao seu lado ...”) A aranha não se aproximou por causa do queijo e sim porque Miss Muffet tinha 11 tuffets de moscas secas. O volume de um tuffet é dado por $1 \text{ tuffet} = 2 \text{ pecks} = 0,50 \text{ Imperial bushel}$, onde $1 \text{ Imperial bushel} = 36,3687 \text{ litros (L)}$. Qual era o volume das moscas de Miss Muffet em (a) pecks; (b) Imperial bushels; (c) litros?

36 A Tabela 1-7 mostra algumas unidades antigas de volume de líquidos. Para completar a tabela, que números (com três algarismos significativos) devem ser introduzidos (a) na coluna de weys; (b) na coluna de chaldrons; (c) na coluna de bags; (d) na coluna de pottles; (e) na coluna da gills? (f) O volume de 1 bag equivale a $0,1091\text{ m}^3$. Em uma história antiga, uma feiticeira prepara uma poção mágica em um caldeirão com um volume de 1,5 chaldron. Qual é o volume do caldeirão em metros cúbicos?

Tabela 1-7

Problema 36

	wey	chaldron	bag	pottle	gill
1 wey =	1	10/9	40/3	640	120 240
1 chaldron =					
1 bag =					
1 pottle =					
1 gill =					

37 Um cubo de açúcar típico tem 1 cm de aresta. Qual é o valor da aresta de uma caixa cúbica com capacidade suficiente para conter um mol de cubos de açúcar? (Um mol = $6,02 \times 10^{23}$ unidades.)

38 Um antigo manuscrito revela que um proprietário de terras no tempo do rei Artur possuía 3,00 acres de terra cultivada e uma área para criação de gado de 25,0 perchas por 4,00 perchas. Qual era a área total (a) na antiga unidade de roods e (b) na unidade mais moderna de metros quadrados? 1 acre é uma área de 40 perchas por 4 perchas, 1 rood é uma área de 40 perchas por 1 percha, e 1 percha equivale a 16,5 pés.

39 Um turista norte-americano compra um carro na Inglaterra e o despacha para os Estados Unidos. Um adesivo no carro informa que o consumo de combustível do carro é 40 milhas por galão na estrada. O turista não sabe que o galão inglês é diferente do galão norte-americano:

$$1 \text{ galão inglês} = 4,546\,090,0 \text{ litros}$$

$$1 \text{ galão norteamericano} = 3,785\,411,8 \text{ litros}$$

Para fazer uma viagem de 750 milhas nos Estados Unidos, de quantos galões de combustível (a) o turista pensa que precisa e (b) o turista realmente precisa?

40 Usando os dados fornecidos neste capítulo, determine o número de átomos de hidrogênio necessários para obter 1,0 kg de hidrogênio. Um átomo de hidrogênio tem uma massa de 1,0 u.

41 O *cord* é um volume de madeira cortada correspondente a uma pilha de 8 pés de comprimento, 4 pés de largura e 4 pés de altura. Quantos cords existem em $1,0\text{ m}^3$ de madeira?

42 Uma molécula de água (H_2O) contém dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio. Um átomo de hidrogênio tem uma massa de 1,0 u e um átomo de oxigênio tem uma massa de 16 u, aproximadamente. (a) Qual é a massa de uma molécula de água em quilogramas? (b) Quantas moléculas de água existem nos oceanos da Terra, cuja massa estimada é $1,4 \times 10^{21}\text{ kg}$?

43 Uma pessoa que está de dieta pode perder 2,3 kg por semana. Expresse a taxa de perda de massa em miligramas por segundo, como se a pessoa pudesse sentir a perda segundo a segundo.

44 Que massa de água caiu sobre a cidade no Problema 7? A massa específica da água é $1,0 \times 10^3\text{ kg/m}^3$.

45 (a) O *shake* é uma unidade de tempo usada informalmente pelos físicos nucleares. Um shake é igual a 10^{-8} s . Existem mais shakes em um segundo que segundos em um ano? (b) O homem existe há aproximadamente 10^6 anos, enquanto a idade do universo é cerca de 10^{10} anos. Se a idade do universo for definida como 1 “dia do universo” e o “dia do universo” for dividido em “segundos do universo”, da mesma forma como um dia comum é dividido em segundos comuns, quantos segundos do universo se passaram desde que o homem começou a existir?

46 Uma unidade de área frequentemente usada para medir terrenos é o *hectare*, definido como 10^4 m^2 . Uma mina de carvão a céu aberto consome anualmente 75 hectares de terra até uma profundidade de 26 m. Qual é o volume de terra removido por ano em quilômetros cúbicos?

47 Uma unidade astronômica (UA) é a distância média entre a Terra e o Sol, aproximadamente $1,50 \times 10^8\text{ km}$. A velocidade da luz é aproximadamente $3,0 \times 10^8\text{ m/s}$. Expresse a velocidade da luz em unidades astronômicas por minuto.

48 A toupeira comum tem uma massa da ordem de 75 g, que corresponde a cerca de 7,5 mols de átomos. (Um mol de átomos equivale a $6,02 \times 10^{23}$ átomos.) Qual é a massa média dos átomos de uma toupeira em unidades de massa atómica (u)?

49 Uma unidade de comprimento tradicional no Japão é o ken (1 ken = 1,97 m). Determine a razão (a) entre kens quadrados e metros quadrados e (b) entre kens cúbicos e metros cúbicos. Qual é o volume de um tanque de água cilíndrico com 5,50 kens de altura e 3,00 kens de raio (c) em kens cúbicos e (d) em metros cúbicos?

50 Você recebeu ordens para navegar 24,5 milhas na direção leste, com o objetivo de posicionar seu barco de salvamento exatamente sobre a posição de um navio pirata afundado. Quando os mergulhadores não encontram nenhum sinal do navio, você se comunica com a base e descobre que deveria ter percorrido 24,5 *milhas náuticas* e não milhas comuns. Use a tabela de conversão de unidades de comprimento do Apêndice D para calcular a distância horizontal em quilômetros entre sua posição atual e o local onde o navio pirata afundou.

51 O cúbito é uma antiga unidade de comprimento baseada na distância entre o cotovelo e a ponta do dedo médio. Suponha que essa distância estivesse entre 43 e 53 cm e que gravuras antigas mostrem que uma coluna cilíndrica tinha 9 cúbitos de altura e 2 cúbitos de diâmetro. Determine os valores mínimo e máximo, respectivamente, (a) da altura da coluna em metros; (b) da altura da coluna em milímetros; (c) do volume da coluna em metros cúbicos.

52 Para ter uma ideia da diferença entre o antigo e o moderno e entre o grande e o pequeno, considere o seguinte: na antiga Inglaterra rural, 1 hide (entre 100 e 120 acres) era a área de terra necessária para sustentar uma família com um arado durante um ano. (Uma área de 1 acre equivale a 4047 m^2 .) Além disso, 1 wapentake era a área de terra necessária para sustentar 100 famílias nas mesmas condições. Na física quântica, a área da seção reta de choque de um núcleo (definida através da probabilidade de que uma partícula incidente seja absorvida pelo núcleo) é medida em barns; 1 bam = $1 \times 10^{-28}\text{ m}^2$. (No jargão da física nuclear, se um núcleo é “grande”, acertá-lo com uma partícula é tão fácil quanto acertar um tiro em um celeiro.) Qual é a razão entre 25 wapentakes e 11 barns?

53 A *unidade astronômica* (UA) é a distância média entre a Terra e o Sol, cerca de $92,9 \times 10^6$ milhas. O *parsec* (pc) é a distância para a qual uma distância de 1 UA subtende um ângulo de exatamente 1 segundo de arco (Fig. 1-8). O *ano-luz* é a distância que a luz, viajando no vácuo com uma velocidade de 186.000 milhas por

segundo, percorre em 1,0 ano. Expresso a distância entre a Terra e o Sol (a) em parsecs e (b) em anos-luz.



Figura 1-8 Problema 53.

54 Uma certa marca de tinta de parede promete uma cobertura de 460 pés quadrados por galão. (a) Expresso esse valor em metros quadrados por litro. (b) Expresso esse valor em uma unidade do SI (veja os Apêndices A e D). (c) Qual é o inverso da grandeza original e (d) qual é o significado físico da nova grandeza?