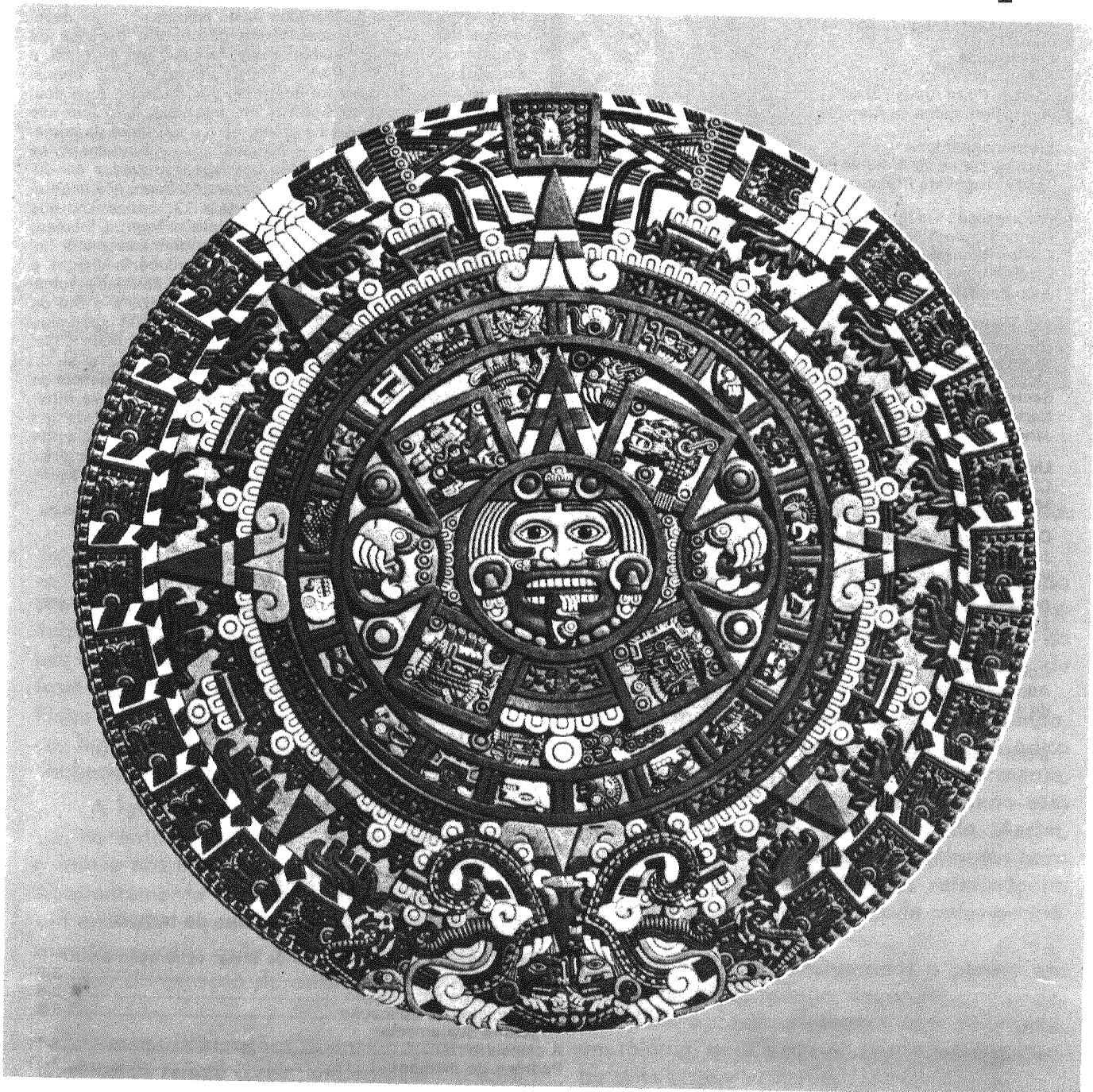


PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA
IFUSP - Instituto de Física da Universidade de São Paulo
MEC/FAE /PREMEN

3

Mecânica

Medidas de tempo



MEC/FAE/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FAE e o PREMEN.

Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger
Giorgio Moscati

Mecânica

Antonia Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Diomar da Rocha Santos Bittencourt
Hideya Nakano
Luiz Muryllo Mantovani
Paulo Alves de Lima
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Eletricidade

Eliseu Gabriel de Pieri
José de Pinto Alves Filho
Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo

Jesuina Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Programação Visual

Carlos Egídio Alonso
Carlos Roberto Monteiro de Andrade
Ettore Michele di San Fili Bottini
João Baptista Novelli Júnior

Fotografia e Reproduções

José Augusto Machado Calil
Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira
Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo
Maria Nair Moreira Rebello

Construção de Protótipos

José Ferreira
Voanerges do Espírito Santo Brites

Desenho Industrial

Alessandro Ventura

Colaboraram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 8 219, São Paulo — SP

CAPA

A Pedra do Sol — 1479 d.C. Esculpido durante o reinado do 6.º monarca, Axayacatl, o Calendário Asteca foi consagrado ao deus Tonatiuh, o Sol.

As figuras esculpidas na pedra — de 3,60m de diâmetro e 25t de peso — têm significados especiais. Os principais são:

No círculo central — a face do deus, ornamentada, em torno de quem ocorrem todos os fenômenos periódicos do Universo.

Na segunda faixa — as garras com que a divindade se sustenta no espaço e os quadrados que representam as quatro épocas da história asteca. O de cima, à direita, é *Ocelotoniuh*, o Sol de Jaguar; nele se representa a "1.ª e mais antiga das épocas, quando viviam os gigantes criados pelos deuses. Eles não lavravam a terra e viviam em cavernas, alimentando-se de frutos silvestres e raízes; finalmente foram atacados e devorados pelos jaguares" . . . — deve-se ao fato de os astecas terem descoberto ossadas de gigantescos animais pré-históricos. O quadrado de cima, à esquerda, é *Ehecatoniuh*, o Sol de Vento; é a "2.ª época, quando a raça humana foi destruída por furacões e os deuses transformaram os homens em macacos, para que não fossem arrasados pelos furacões; esta é a origem da semelhança entre o homem e o macaco" . . . — fundamenta-se em terem descoberto grandes bosques derrubados por furacões. *Quiautoniuh*, o Sol de Chuva de Fogo, é o quadrado de baixo, à esquerda; representa a "3.ª época, em que tudo foi extinto por uma chuva de lava e fogo; o homem desse tempo foi transformado em ave para escapar à hecatombe" . . . — baseia-se em terem descoberto choças e esqueletos cobertos de lava e na grande atividade vulcânica no México. O último quadrado é *Atonatiuh*, o Sol de Água; corresponde à "4.ª época, quando tudo sucumbiu sob fortes chuvas que cobriram as montanhas mais altas. A humanidade foi transformada em peixe para salvar-se do dilúvio universal" . . . — deve-se à descoberta de fósseis de animais marinhos no alto das montanhas. *Na terceira faixa*, iniciando na posição correspondente ao meio-dia de um relógio, sucedem-se, no sentido anti-horário, os 20 dias do mês asteca: crocodilo, vento, casa, lagartixa, cobra, morte, veado, coelho, água, cão, macaco, erva, cana, jaguar, água, zopilote, terremotos, adaga de obsidiana, chuva e flor.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 3 — Medidas de tempo

1. EXPERIÊNCIA — Cronômetro de areia: calibração e utilização	3-2
2. Período de um pêndulo	3-6
3. Exercícios de aplicação	3-8
Leitura Suplementar	
A clepsidra	3-11
Padrões de medidas	3-11

Raras vezes os conceitos e teorias sobre o tempo são temas de uma obra cinematográfica, entretanto o tratamento do tempo é um de seus elementos essenciais. Muitas vezes, a consciência que um personagem tenha do tempo é um meio de realçar o efeito dramático. Numa das cenas do filme expressionista *O Gabinete das Figuras de Cera* (Paul Leni, Alemanha, 1924), o czar russo Ivan, o Terrível (interpretado por Conrad Veidt), tomado de loucura, permanece sentado, invertendo uma enorme ampulheta, pois tinha associado a queda da areia com a duração de sua própria vida.



Medidas de tempo

O tempo é algo que não conseguimos compreender inteiramente; sentimos sua passagem, mas não sabemos defini-lo. Newton, por exemplo, disse, na abertura dos *Principia* (que foi a obra que servia de base a toda a Física até 1900): "Não defino tempo, espaço, lugar e movimento, que são coisas bem conhecidas por todos."

A ignorância sobre a natureza do tempo, no entanto, não impede que nós o meçamos e nos refiramos a ele; dessa maneira, freqüentemente dizemos coisas: "Há mais de um ano não vejo fulano". "Ainda faltam 15 minutos para a aula terminar". "Contei três batidas do coração durante a queda da pedra".

Nessas afirmações, mencionaram-se intervalos de tempo correspondentes a um ano,

a um minuto e à duração entre uma batida cardíaca e outra. Ou seja, em cada caso fez-se uma comparação entre a duração do acontecimento e uma certa unidade de tempo.

Sempre que quisermos medir o tempo, devemos escolher um fenômeno periódico qualquer, isto é, que se repete regularmente, e comparar a duração desse fenômeno com a do acontecimento que se estuda. Assim, quando dizemos que faltam 15 minutos para a aula terminar, estamos nos referindo ao movimento periódico executado pelos ponteiros do relógio.

Estamos tão acostumados a pensar em termos de hora, minuto, segundo, que podemos dizer aproximadamente, sem olhar para um relógio, qual o tempo que transcorreu entre dois instantes dados.

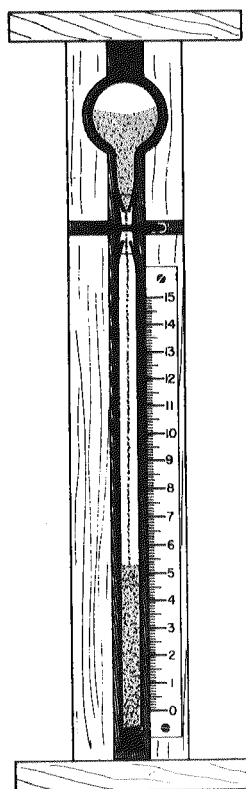


figura 1

Tente, por exemplo, avaliar um intervalo de 15 segundos. Um colega pode ajudá-lo, marcando o tempo num relógio.

Q1 — De quanto você errou?

Com um pouco de treinamento, você poderia aperfeiçoar essa capacidade mental de medir o tempo; uma maneira é contar: Curitiba 1, Curitiba 2, Curitiba 3, etc. De fato, o tempo necessário para dizer "Curitiba 1" corresponde aproximadamente a 1 segundo. Contudo, processos mentais de medida de tempo não são evidentemente adequados quando se deseja uma boa precisão. Para isso existem os relógios.

Neste curso, teremos necessidade de medir intervalos de tempo da ordem de décimos de segundo, o que não se consegue com os relógios comuns, de pulso. Como um cronômetro dotado dessa precisão é um instrumento caro, contornamos a situação construindo um aparelho muito simples, que chamamos "cronômetro de areia" (figura 1); ele é capaz de fornecer medidas de tempo com precisão de décimos de segundo.

3-2

A figura 1 mostra o protótipo do cronômetro de areia utilizado no PEF. O modelo que você vai utilizar é diferente, mas se baseia no mesmo princípio de funcionamento. Os elementos básicos desse protótipo são:

- dois tubos de vidro com extremidades afinadas, ligados entre si por meio de um pequeno tubo de borracha cirúrgica e fixados em posição vertical em um suporte de madeira;
- um interruptor, que mantém comprimido o tubo de borracha e impede que a areia escoe do reservatório superior para o tubo inferior; seu acionamento permite o escoamento da areia;
- uma escala milimetrada em que se lê a altura da coluna de areia escoada.

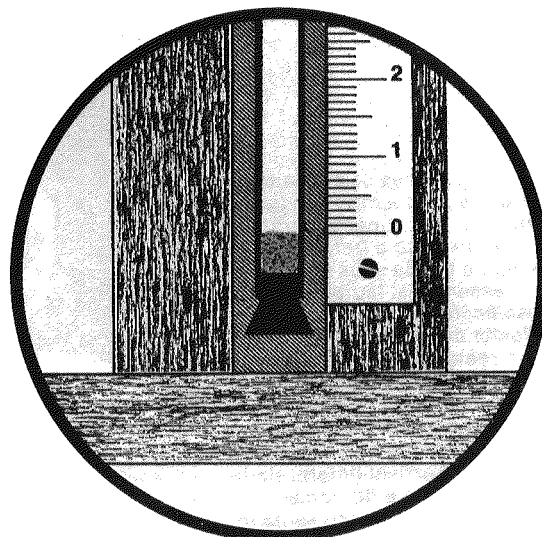


figura 2

O cronômetro de areia é basicamente uma **ampulheta**, instrumento usado há muitos séculos para medir o tempo. Modificamos sua forma e acrescentamos um interruptor e uma escala milimetrada.

1. EXPERIÊNCIA

Cronômetro de areia

Calibração e utilização

Faça seu cronômetro funcionar algumas vezes, verificando se a areia escoa regularmente.

Seu primeiro trabalho será calibrar o cronômetro, isto é, estabelecer uma relação entre a altura da coluna de areia escoada e o intervalo de tempo durante o qual isso ocorre. Para tanto, você precisará de um relógio que possua ponteiro de segundos, e cujo mostrador seja graduado pelo menos de cinco em cinco segundos.

Você deve proceder da seguinte maneira:

TEMPO (s)	ALTURA (mm)					MÉDIA DAS ALTURAS Transponha os dados desta coluna para a tabela 2 da página 3-4
	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	
5						
10						
15						
20						

tabela 1

- Deixe a areia escoar até atingir a marca 0 (zero) da escala milimetrada (figura 2). Esta será a origem para a leitura das alturas.
- Faça a areia escorrer durante 5 segundos (marque o tempo no relógio) e anote, na tabela 1, a altura da coluna de areia escoada.
- Faça com que a areia volte ao marco zero.
- Repita quatro vezes o procedimento anterior, anotando na tabela 1 a altura atingida em cada intervalo de 5 segundos.
- Faça o mesmo para intervalos de tempo de 10, 15 e 20 segundos; se possível, também para 25s.
- Calcule as médias das medidas efetuadas e preencha a última coluna da tabela 1 com os valores encontrados.

Q2 — Por que é importante calcular essas médias?

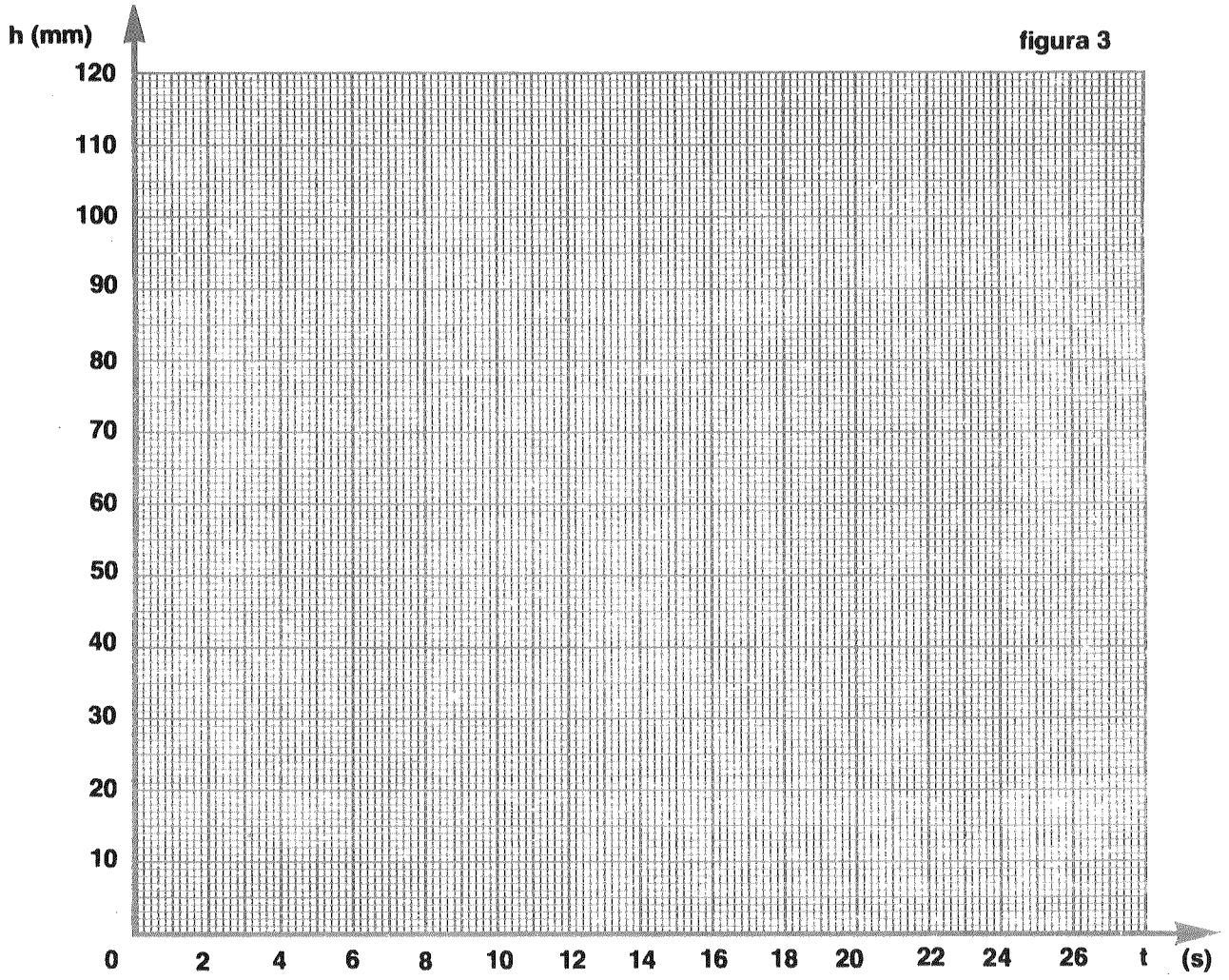
Q3 — Qual é a altura da coluna de areia escoada durante um intervalo de tempo de zero segundo?

RESPOSTAS

R₁ -

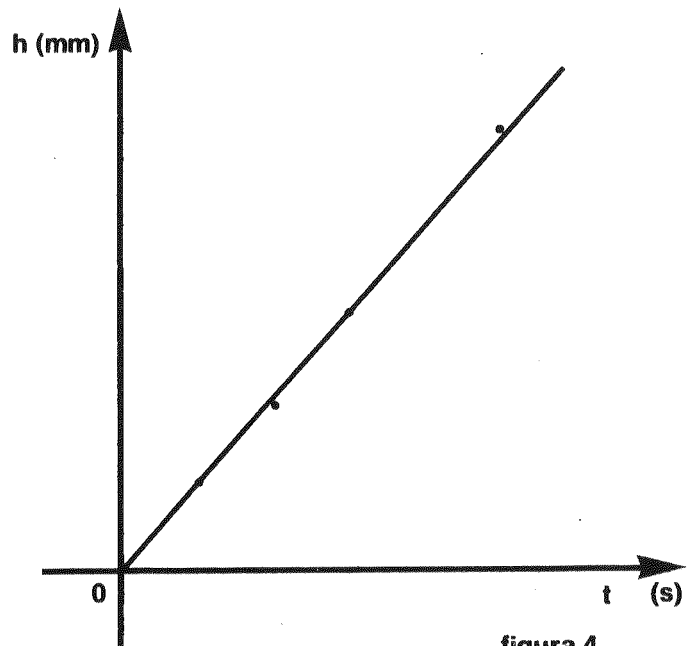
R₂ -

R₃ -



TEMPO (s)	MÉDIA DAS ALTURAS
5	
10	
15	
20	

tabela 2



Os dados da tabela 1 nos permitirão construir o gráfico que representa as médias das alturas em função do tempo; utilizaremos, para isso, o papel milimetrado da figura 3.

Os intervalos de tempo devem ser marcados no eixo das abscissas, e as alturas no eixo das ordenadas. A escala adotada é a seguinte: no eixo dos tempos, cada centímetro corresponde a 2 segundos; no eixo das alturas é reproduzida a escala do cronômetro, isto é, cada centímetro corresponde a 10 milímetros de areia escoada.

Q4 — Qual é, no eixo das abscissas, o intervalo de tempo correspondente à menor divisão da escala (1mm)?

Veja as respostas das questões de Q1 a Q4 na página 3-6.

Agora transporte para o gráfico da figura 3 os dados da tabela 2; ou seja, marque, para cada intervalo de tempo de 5 segundos, 10 segundos, 15 segundos e 20 segundos, a altura de areia correspondente (utilize as médias que você calculou). Os pontos obtidos sugerem que o gráfico é uma reta. Se tais pontos não estiverem perfeitamente alinhados, trace uma reta que passe pela origem e contenha o maior número possível deles, deixando aproximadamente o mesmo número de pontos de cada lado, como na figura 4.

Q5 — Por que a reta deve passar pela origem?

Traçando uma reta, estamos admitindo que a quantidade de areia que escoar em intervalos iguais de tempo é sempre a mesma. O fato de os pontos não estarem todos alinhados é consequência de imprecisões nas medidas efetuadas.

Você acaba de construir o gráfico de calibração de seu cronômetro de areia. Ele permite converter milímetros de areia em segundos e vice-versa. Assim, para medir um dado intervalo de tempo em segundos, você deverá verificar qual a altura da areia escoada nesse intervalo, e, com o auxílio do gráfico, determinar o valor do tempo, em segundos, que corresponde a essa altura.



A maioria dos procedimentos para medir o tempo baseava-se nos movimentos do Sol. Na figura, dois membros de uma tribo de Bornéu medem a sombra projetada por um pau totêmico. A medida é feita todos os dias ao meio-dia. Quando a sombra começa a encurtar, eles se põem a preparar a terra para o cultivo.

RESPOSTAS

R₄ -

R₅ -

- R1 — Os erros são geralmente de alguns segundos.
 R2 — Porque, para representar uma grandeza, a média é o melhor valor de uma série de medidas.
 R3 — Zero.
 R4 — 0,2 segundo.

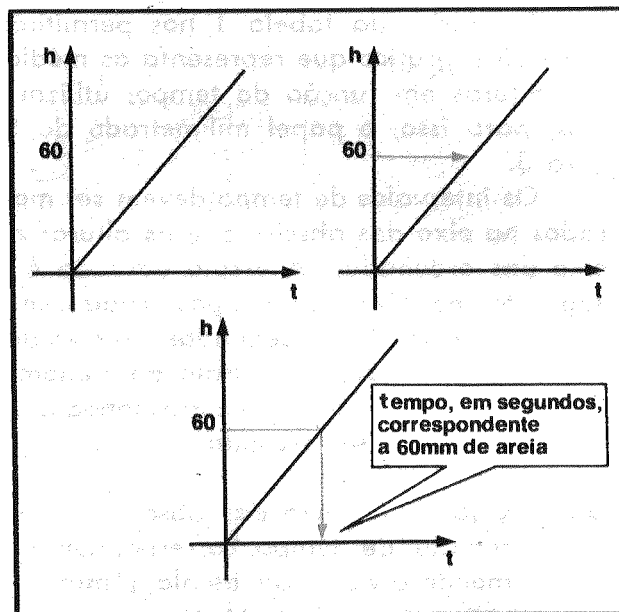


figura 5

Por exemplo, para encontrar o intervalo de tempo correspondente a 60 milímetros de areia, você deve proceder como está indicado na figura 5.

Q6 — Determine, pelo seu gráfico (figura 3), o intervalo de tempo que corresponde ao escoamento de 35,0mm de areia.

Pode-se também efetuar a operação inversa, isto é, determinar a altura de areia correspondente a um certo intervalo de tempo.

Q7 — Utilizando o gráfico de calibração do seu cronômetro, ache a altura de areia que corresponde a 8,5s.

Q8 — Usando o cronômetro de areia e o gráfico de calibração, meça o tempo, em segundos, que um aluno gasta para caminhar em linha reta do fundo à frente da sala.

NOTA: O cronômetro de areia de seu grupo será utilizado durante todo o curso. Ele deve ser numerado, para que não haja a possibilidade de trocá-lo com o de outro grupo. **Lembre-se, também, de ter sempre consigo o gráfico de calibração, sem o qual você não poderá fazer a conversão de milímetros de**

areia em segundos. De nada adianta usar o gráfico de calibração de um cronômetro para efetuar conversões de medidas obtidas com outro cronômetro.

Veja as respostas das questões de Q5 a Q8 na página 3-8.

2. Período de um pêndulo

O desenho da figura 6 é o de um pêndulo, que oscila entre dois pontos extremos, 1 e 2. A posição em que o pêndulo ficaria normalmente parado é chamada **posição de equilíbrio**. Daremos o nome de **amplitude de oscilação** à distância entre a posição de equilíbrio e qualquer das posições extremas.

Q9 — Meça, na figura 6, a amplitude de oscilação do pêndulo. Qual é o resultado em centímetros?

Dizemos que o pêndulo executa uma **oscilação completa** quando sai de uma posição extrema (por exemplo, a posição 1), atinge a outra posição extrema (2) e volta à primeira (1). O tempo gasto em uma oscilação completa é o **período** do pêndulo.

Você vai agora construir um pêndulo e, com o auxílio do cronômetro de areia, medir seu período. Amarre uma das pontas de um barbante a um objeto de densidade grande — como um molho de chaves, um compasso,

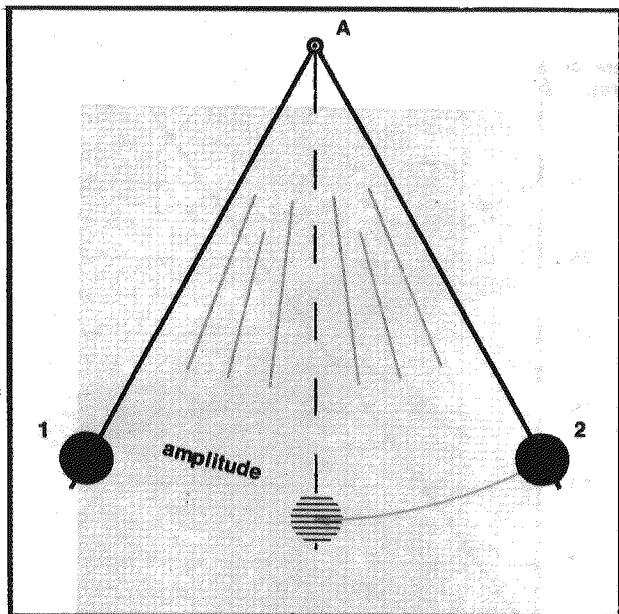


figura 6

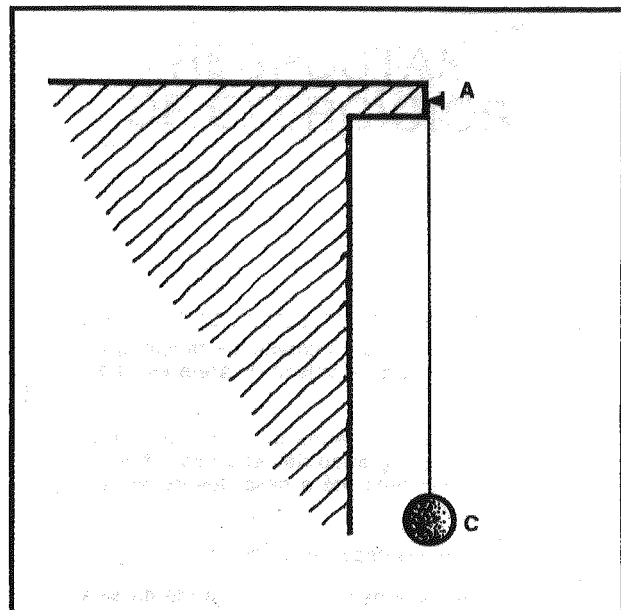


figura 7

uma borracha, etc. —, prendendo a outra extremidade em sua carteira: use, para isso, um percevejo (figura 7). Faça com que a distância do ponto de suspensão A ao centro do objeto seja de aproximadamente 70cm.

Se alguns grupos não tiverem condições de construir um pêndulo, o professor deverá montar um na frente da sala, para uso geral.

Afaste o objeto da posição de equilíbrio, fazendo com que a amplitude de oscilação seja de cerca de 15cm.

Deixe o pêndulo oscilar e meça, com o cronômetro de areia, o intervalo de tempo necessário para que ele execute uma oscilação completa. Utilize o gráfico de calibração para converter milímetros de areia em segundos.

Q10 — Qual é, em segundos, o período do pêndulo?

Vamos agora melhorar a precisão dessa medida: outra vez, faça o pêndulo oscilar com amplitude correspondente a 15cm. Meça o intervalo de tempo necessário para o pêndulo executar 10 oscilações completas.

Q11 — Qual é esse intervalo de tempo?

RESPOSTAS

R₆ -

R₇ -

R₈ -

R₉ -

R₁₀ -

R₁₁ -

R₁₂ -

- R5 — Porque para um intervalo de tempo igual a zero a altura da coluna de areia escoada é zero.
- R6 — A resposta depende do cronômetro a que pertence o gráfico de calibração. A leitura deve ser feita até a casa dos décimos de segundo.
- R7 — A resposta depende do cronômetro.
- R8 — A resposta depende do tamanho da sala e da velocidade do aluno; *ela não deve depender do cronômetro utilizado.*

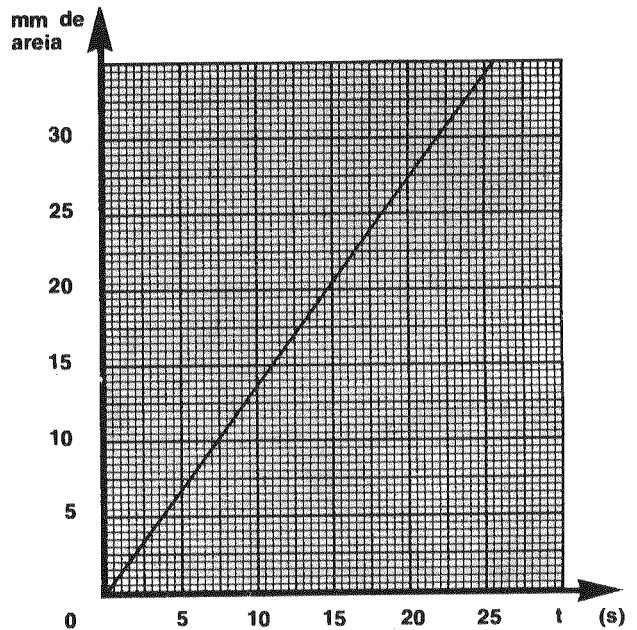


figura 8

Será que poderíamos, agora, dividir por 10 esse resultado, para obter a duração de uma única oscilação completa? Você deve ter notado que a amplitude do movimento do pêndulo vai diminuindo com o tempo: ao fim das 10 oscilações completas, a amplitude é menor que a correspondente às primeiras oscilações. Isso parece, à primeira vista, indicar que o período do pêndulo também diminui. Podemos verificar se isso é verdade realizando uma nova experiência.

Faça o pêndulo oscilar, desta vez com amplitude de oscilação de aproximadamente 5cm. Meça o intervalo de tempo necessário para o pêndulo executar 10 oscilações completas.

Q12 — Qual é o intervalo de tempo encontrado?

Apesar de a amplitude inicial de oscilação nesta segunda experiência ter sido **cerca de 3** vezes menor que na primeira experiência, o tempo necessário para o pêndulo executar 10 oscilações completas foi aproximadamente igual em ambos os casos. Isso indica, então, que o período praticamente não depende da amplitude, pelo menos quando esta amplitude é pequena quando comparada com o comprimento do pêndulo.

Podemos, assim, dividir por 10 o resultado obtido em qualquer dos casos, conseguindo a média aritmética que é uma medida mais precisa do **período do pêndulo**.

Veja as respostas das questões de Q9 a Q12 na página 3-10.

3. Exercícios de aplicação

- E1** — Utilize o cronômetro de areia para medir sua pulsação — número de batidas que seu coração dá por minuto.
- E2** — Como você pode utilizar sua pulsação para medir um intervalo de tempo qualquer?
- E3** — Um pêndulo executa 10 oscilações completas em 8,0 segundos.
- Qual o período do pêndulo?
 - Usando o pêndulo como cronômetro, verificou-se que o tempo de queda de uma pedra foi 5 oscilações. Dê o tempo de queda, em segundos.
- E4** — A figura 8 representa o gráfico de calibração de um cronômetro de areia. Utilize o gráfico para determinar quantos milímetros de areia escoam entre os instantes:

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₁ -

R₂ -

R₃ - a-

b-

R₄ - a-

b-

c-

d-

e-

f-

g-

h-

i-

j-

R₅ -

R₆ - a-

b-

c-

d-

e-

f-

- a) Zero segundo e 5 segundos.
- b) 5 segundos e 10 segundos.
- c) 10 segundos e 15 segundos.
- d) 15 segundos e 20 segundos.
- e) 20 segundos e 25 segundos.
- f) A quantidade de areia que escoar por segundo é sempre a mesma?
- g) A quantos segundos corresponde, no eixo das abscissas, a menor divisão da escala?
- h) A quantos milímetros de areia corresponde, no eixo das ordenadas, a menor divisão da escala?
- i) Qual tempo, em segundos, corresponde a 9,0mm de areia escoada?
- j) Qual altura de areia corresponde a 15,5 segundos?

E5 — Cite cinco unidades usuais para a medida de tempo.

E6 — Faça as conversões das medidas de tempo propostas abaixo:

- a) 2,25 minutos para segundos (não confunda 2,25 minutos com 2 minutos e 25 segundos).
- b) 9 900 segundos para horas.
- c) 165 minutos para horas.
- d) 1,342 hora para minutos.
- e) 1 dia para segundos.
- f) 1,342 hora para segundos (não confunda 1,342 hora com 1h 342min).

R9 — Entre 3,05cm e 3,15cm.

R10 — Se o comprimento do pêndulo for 70cm, o resultado deverá estar entre 1,0 e 2,0s.

R11 — Para pêndulos de comprimento 70cm, consideram-se corretos resultados entre 15,0 s e 18,0 s.

R12 — Um valor igual a R11.

R1 — Cerca de 80 pulsações por minuto é o normal, o que dá um intervalo de aproximadamente 0,7s entre cada pulsação.

R2 — Contando o número de pulsações que ocorrem durante o intervalo de tempo a ser medido. Esse intervalo pode ser expresso em número de pulsações, mm de areia ou segundo.

R3 — a) 0,8 segundo; b) 4,0 segundos.

R4 — a) 6,8mm de areia.
b) 6,8mm de areia.
c) 6,8mm de areia.
d) 6,8mm de areia.
e) 6,8mm de areia.
f) Sim.
g) A menor divisão, 1mm, corresponde a 0,5s.
h) 0,5mm de areia.
i) 7,0 segundos.
j) 20,5mm.

R5 — Século; ano; semestre; mês; quinzena; semana; dia; hora; minuto; segundo.

R6 — a) 135 segundos.
b) 2,75 horas.
c) 2,75 horas.
d) 80,52 minutos.
e) 86 400 segundos.
f) 4 831,2 segundos.



Os relógios de água — mais exatos e adaptáveis que os relógios de areia — foram utilizados no mundo antigo. No relógio chinês a água vertia de um recipiente a outro, cada um dos quais tinha marcas com divisões de tempo. De maneira similar, podia medir-se o tempo mediante o nível descendente do azeite, queimado gradualmente em um tubo.

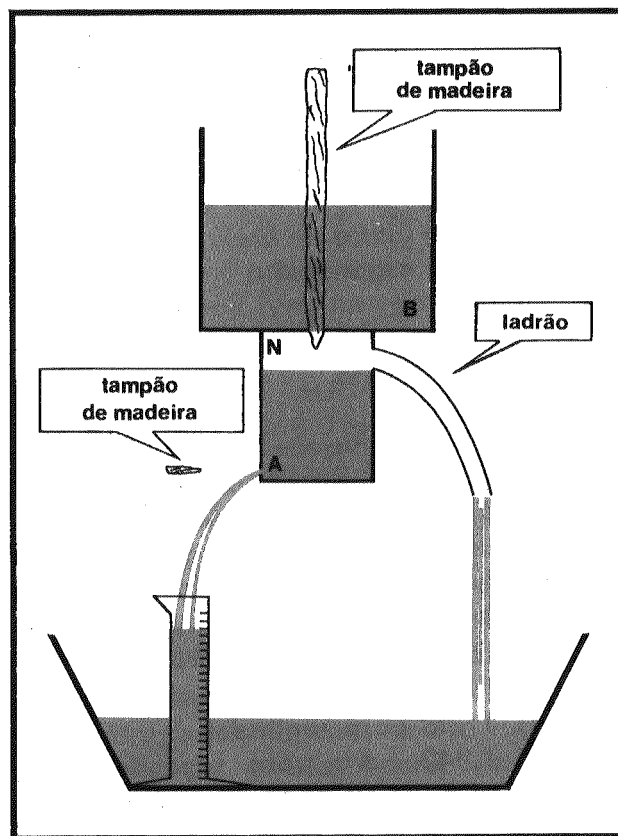


figura 9

Leitura Suplementar

A CLEPSIDRA

Ao estudar os movimentos, Galileu não dispunha de cronômetros como os de hoje. Ele supriu essa falta construindo uma clepsidra, instrumento capaz de medir o tempo pelo escoamento de água. Você também pode construir um dispositivo semelhante para, se for o caso, substituir o cronômetro de areia.

O material necessário é: 1 lata de cerca de 10cm de altura; 1 lata de 1 litro, aproximadamente; 10 cm de tubo de borracha (ou de plástico) com diâmetro da ordem de 0,5 cm; 1 proveta graduada; 1 bacia ou pia; 2 lascas de madeira.

O funcionamento da clepsidra é fundamentado na medida do volume da água que sai por um orifício feito em uma vasilha. O escoamento da água pelo furo aberto numa lata depende da quantidade de água existente na lata (a rigor, depende do nível N da água em relação ao orifício).

Para evitar que o nível de água na lata desça, causando assim diminuição do fluxo de água, é necessário acrescentar constantemente o líquido à vasilha, como mostra a figura.

O orifício inferior da lata A pode ser feito com um prego fino (1mm de diâmetro) e o da lata B com um prego mais grosso. Assim, a lata A recebe mais água do que a que sai pelo orifício inferior. O excesso é drenado pelo ladrão lateral.

Feita a montagem, tape os orifícios com as lascas de madeira (veja figura 9) e encha as latas até que a água escorra pelo ladrão. A seguir retire os tampões e permita o escoamento da água pelos furos inferiores das duas latas. Mesmo que o escoamento pelo orifício da lata B não seja uniforme, o fluxo de água da lata A permanecerá constante, desde que saia água pelo ladrão.

Agora você pode medir intervalos de tempo; para isso, deve usar a proveta para recolher a água que escoar pelo orifício inferior da lata A durante o intervalo de tempo a ser medido. Nesse caso, o intervalo de tempo será medido em centímetros cúbicos (cm^3) de água. Querendo efetuar a conversão de medidas expressas em cm^3 de água para medidas em segundos, você deve proceder como está indicado no texto para o caso da conversão de medidas em mm de areia para medidas em segundos.

Assim, analogamente ao cronômetro de areia, a clepsidra pode ser utilizada para efetuar medidas de tempo.

PADRÕES DE MEDIDAS

As medidas de comprimento, massa, tempo e temperatura estão na base de toda atividade científica e tecnológica. É sobre elas que repousam as demais medidas, e são elas que estabelecem o grau de precisão com que o homem examina o universo físico.

As primeiras unidades de medidas adotadas pelo homem eram muito simples. Para medir comprimentos, usava seu pé, sua mão, seu passo etc.; quanto à massa, usava pequenas pedras; o Sol e a Lua forneciam o andamento do tempo. No entanto, tais unidades de medida não eram comuns a todos: o pé de um homem podia ser maior ou menor que o de outro, algumas pedras eram mais pesadas que outras, e havia dias mais longos ou mais curtos. Isso mostrava que tais padrões de medida não eram convenientes. No entanto, até o advento da ciência experimental, no século XVI, as únicas pessoas preocupadas com o problema eram os astrônomos. Naquele tempo, um mesmo país contava freqüentemente com uma grande variedade de unidades diferentes, relativas às mesmas grandezas. Ora, com os trabalhos de Galileu, tornou-se claro que as medidas físicas deviam desempenhar um papel muito importante no estudo dos fenômenos naturais.

Os filósofos naturais começaram a perceber que unidades de medida universais e, principalmente, bem definidas são essenciais para a troca de informações e comparação de resultados experimentais. A consciência de tais fatos leva, já na metade do século XVIII, a que se desenvolvesse, entre os investigadores de muitas nações, um movimento organizado no sentido de estabelecer um sistema de medidas verdadeiramente internacional, pousado sobre uma sólida base científica. Isso culminou, ao tempo da Revolução Francesa, com o nascimento do sistema métrico.

DO MERIDIANO TERRESTRE AO COMPRIMENTO DE UMA BARRA

O principal alvo das atenções dos cientistas de então foram as medidas de comprimento. Em 1790, a Assembléia Nacional francesa constituiu uma comissão de cientistas para estudar o assunto; resolveu-se, então, definir a nova unidade de medida, o **metro**, como um décimo milionésimo de um quadrante do meridiano terrestre, medido sobre a fração (1/10) desse quadrante que liga

Dunquerque, na França, a Barcelona, na Espanha. A medição, levada a efeito por uma expedição liderada pelo astrônomo francês Jean Baptiste Delambre, foi realizada entre 1792 e 1799 (ver figura página 2-7).

Nesse meio-tempo, medidas astronômicas mostraram que a distância entre Dunquerque e Barcelona representa, na verdade, um pouco mais que um décimo do quadrante que liga o pólo norte ao equador. A distância entre essas duas cidades mostrou conter 1 075 039 vezes a unidade subseqüentemente definida como o metro.

A unidade de massa, o quilograma, foi tomada como a massa de um decímetro cúbico de água à temperatura em que esse líquido apresenta sua máxima densidade; a tal volume deu-se o nome de um **litro**. Dessa forma, as unidades de massa e de volume derivavam do padrão de comprimento.

O processo de adoção do sistema métrico foi lento mas firme. A Itália, a Bélgica e a Holanda passaram a usar o novo sistema a partir do começo do século XIX, enquanto o Brasil o adotou oficialmente em 1862.

Contudo, o sistema, tal como fora concebido, começou a dar origem a certo descontentamento. A razão pela qual se escolhera o meridiano terrestre como base para o padrão de comprimento havia sido o fato de que ele estaria sempre à disposição para se realizar medidas. A experiência, no entanto, mostrou que duas barras podem ser comparadas entre si com precisão muito maior que a conseguida pela comparação de uma barra com o meridiano. Além disso, era difícil reproduzir o quilograma em diferentes países, simplesmente pesando um litro de água à sua máxima densidade.

O governo francês patrocinou, então, em 1870, uma conferência internacional para estabelecer padrões que servissem de base para um sistema unificado de medidas. Tais esforços levaram à assinatura, em 1875, do Tratado do Metro. Por meio desse documento, criava-se o Bureau Internacional de Pesos e Medidas, organização à qual se atribuía a custódia dos padrões de um sistema internacional de medidas, cuja criação ficava prevista; o tratado estabeleceu ainda a realização de uma Conferência Geral de Pesos e Medidas, que, reunindo-se periodicamente, deveria cuidar dos problemas que aparecessem e adotar novas definições, à medida que as necessidades surgissem.

Padrão de madeira usado no século passado (1832) para conferir a exatidão das arrobas de ouro remetidas de Minas Gerais para o governo central, no período da decadência da mineração. Atualmente, o padrão não apresenta mais os 15 quilogramas que tinha originalmente, pois está gasto pelo uso e pelo tempo. Encontra-se hoje no Museu do Instituto de Pesos e Medidas de São Paulo.



Comissões especiais passaram imediatamente a elaborar protótipos de padrões do metro e do quilograma, de forma que o sistema pudesse se basear em dois padrões independentes. Depois de muitos anos de trabalho, concluído em 1889, definiu-se oficialmente o metro como a distância, a zero grau centígrado (hoje Celsius), entre duas marcas gravadas em uma barra feita com uma liga de platina e irídio. Tal barra deveria ficar sob custódia do Bureau Internacional, sendo guardada em Sèvres, próximo a Paris, onde está até hoje. Ela deveria ficar à disposição para comparação com os padrões de comprimento de todas as nações. Cópias do metro-padrão foram fornecidas a todos os países que assinaram o tratado.

Também em 1889 definiu-se o quilograma como a massa de um determinado cilindro de platina e irídio.

OS PADRÕES ATÔMICOS

Os avanços que a Física experimentou na última metade do século XIX, porém, vieram modificar esse panorama. O desenvolvimento verificado nas teorias do calor, da luz, da eletricidade e do eletromagnetismo tornou necessária a construção de instrumentos capazes de medir um conjunto completamente novo de propriedades; ao mesmo tempo, foi preciso criar padrões para muitas das novas unidades de medida. Tudo isso se refletiu no refinamento do sistema métrico; nos últimos 80 anos, a Conferência Geral de Pesos e Medidas veio aperfeiçoando e estendendo cada vez mais o sistema, de forma que, hoje, ele vai muito além dos padrões originais de comprimento e massa. Por outro lado, passou-se a procurar os padrões de medida ao nível dos fenômenos atômicos.

Assim, a 11.^a Conferência Geral, reunida em 1960, adotou o Sistema Internacional de Unidades, baseado sobre quatro unidades independentes: comprimento, massa, tempo e temperatura. Dessas quatro, apenas a unidade de massa espera por ser definida em termos de fenômenos atômicos.

O metro é, atualmente, definido como 165 076 373 vezes o comprimento de onda, no vácuo, de uma determinada radiação emitida pelos átomos do isótopo 86 do criptônio (um dos chamados gases nobres). A precisão do velho padrão era limitada pela precisão com que se podem comparar os comprimentos de duas barras — cerca de uma ou duas partes em 10 milhões. O padrão do criptônio permite uma precisão de algumas partes em 100 milhões.

O TEMPO: DO DIA SOLAR AS TRANSIÇÕES DO CÉSIO

A medida de intervalos de tempo envolve conceitos e problemas muito diversos daqueles inerentes às medidas de comprimento e massa. Não é possível, por exemplo, escolher uma particular amostra de tempo e tomá-la nas mãos, para fins de referência. Essa dificuldade tornou-se evidente muito cedo, de sorte que, desde épocas muito remotas, os padrões de tempo têm sido referidos a algum movimento ou fenômeno periódico.

Durante séculos, mediu-se o tempo em termos da rotação da Terra, sendo o dia dividido em horas, estas em minutos e estes em segundos. Quanto ao segundo, era definido como 1/86 400 do dia solar médio. Tal definição revelou-se adequada até que, já no século XX, o uso de relógios especiais mostrou que o segundo, assim definido, estava mudando constantemente. Em certos anos, a duração do dia pode variar até cerca de uma parte em 10 milhões, o que dá três segundos, em um ano de 315 milhões de segundos. A esse inconveniente se somava o fato de os astrônomos utilizarem uma escala de tempo diferente, em que o segundo se definia a partir do movimento de translação da Terra em torno do Sol.

O primeiro passo no sentido de definir o segundo de modo mais rigoroso foi dado em 1956, quando o Comitê Internacional de Pesos e Medidas, agindo sob a autoridade da 10.^a Conferência Geral (1954), redefiniu o segundo como a fração 1/315 569 259 747 do ano tropical de 1900 (o ano tropical é o tempo decorrido entre duas chegadas sucessivas do Sol ao equinócio vernal). Essa foi uma decisão provisória, enquanto se esperava a adoção de um padrão atômico. A nova definição foi ratificada em 1960, pela 11.^a Conferência Geral, ao mesmo tempo em que se instava para que se desenvolvesse mais rapidamente os trabalhos de formulação de uma definição em termos de fenômenos atômicos. Por fim, em 1967, adotou-se como "pêndulo" para a definição do segundo a transição entre dois determinados níveis de energia do átomo de Césio-133. O segundo passou a ser então 91 926 319 192 631 770 ciclos dessa transição.

Você encontrará mais informações sobre padrões de medida no artigo de A. V. Astin na revista **Scientific American** de junho de 1968 (em que se baseou este texto) e na Apostila do Curso de Metrologia do Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo.

ISBN 85-222-0160-9

Esta obra foi impressa pela
EDITORA DO BRASIL S/A.
Av. Mal. Humberto de Alencar Castelo Branco, 368
Fone: 913-4141 — Guarulhos — SP
para a
FAE — Fundação de Assistência ao Estudante
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça
Rio de Janeiro — RJ — República Federativa do Brasil
em 1984.