



## Ilusões de óptica: contraste

Mara Fernanda Parisoto  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: marafisica@hotmail.com

Thaís Rafaela Hilger  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: thais.hilger@gmail.com

**E**m nossa experiência diária, muitas vezes, nos deparamos com situações em que somos enganados pelos nossos sentidos. Ao entrar em uma sala após passar algum tempo ao Sol, temos a impressão de que a sala está escura e vai clareando aos poucos. Na verdade a iluminação não foi modificada. O problema está em como nossos olhos percebem o contraste. Existem várias “brincadeiras” que nossos olhos fazem com o nosso cérebro. Vejamos um exemplo. Duas maçãs pretas (Fig. 1): uma está sobre um fundo branco e a outra sobre um fundo cinzento. Por que uma delas parece mais escura que a outra?

Nas Figs. 2 e 3, observa-se uma imagem escondida em outra. Como isso pode ser explicado?

Na Fig. 4 temos um objeto que faz sombra em um tabuleiro. Por que os quadrados que estão na sombra parecem ser mais escuros?

Ao olhar para figuras de mesma coloração, mas com cores de fundo diferentes, as cores das figuras aparentam serem diferentes. Se o fundo for escuro, a figura aparentará ser mais clara e se o

fundo for mais claro a figura aparentará ser mais escura. Isso se deve ao contraste, que a grande maioria das pessoas pensa ser somente de claro e escuro, o que não é verdade. O contraste se entende por influências recíprocas de sensações ópticas, quando os estímulos luminosos apresentando intensidades e cores diferentes atuam, simultaneamente ou com um pequeno intervalo, sobre os mesmos pontos da retina. Assim, uma mancha um pouco

mais clara aparece ainda mais clara junto de zonas mais escuras e vice-versa [1].

Ao abordar o conteúdo de óptica no Ensino Médio, muitas vezes, o professor de física se detém à óptica geométrica, esquecendo-se de outras facetas desse assunto. A seguir apresentamos duas atividades para motivar os estudantes e tornar a física um pouco mais divertida e próxima dos alunos.

**Entortando linhas paralelas**

### Entortando linhas paralelas

#### Materiais

- cartolina branca;
- régua;
- lápis ou caneta preta.

Para que os alunos aprendam significativamente há a necessidade de contextualização e utilização de propostas que os motivem, como, por exemplo, a partir do tema ilusões de óptica. Neste artigo apresentamos ilusões de óptica envolvendo contraste, propomos alternativas, através de atividades experimentais de fácil confecção e custo acessível e, por último, elaboramos uma sugestão de atividade utilizando ilusões para o ensino da óptica física. Apresentamos também implicações e curiosidades das ilusões de óptica no cotidiano. Trata-se de uma proposta interdisciplinar que, facilitada pelas ilusões de óptica e mediada pela ação do professor, relaciona teoria e prática, instigando a curiosidade dos alunos e podendo facilitar a aprendizagem.

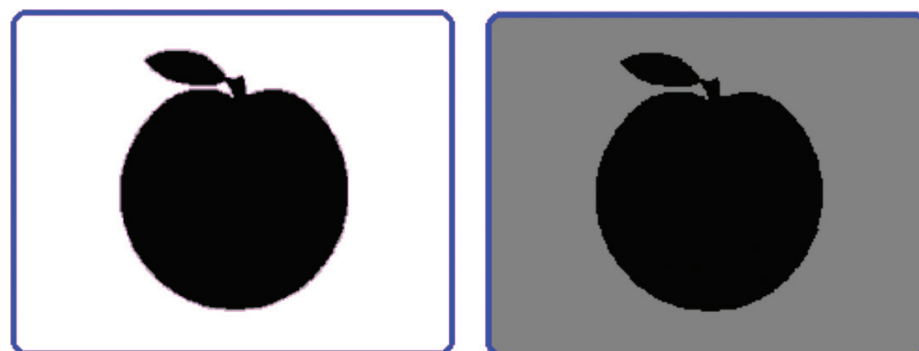


Figura 1 - Ilusão de contraste. Fonte: <http://www.mdig.com.br>.



Figura 2 - Ilusão de contraste. Fonte: <http://www.mdig.com.br>.

### Como fazer

Traçamos retas horizontais de um lado a outro da cartolina e posteriormente traçamos retas verticais formando vários quadrados levemente desalinhados. Como em um tabuleiro de xadrez, os quadrados devem ser pintados de preto alternadamente. Uma sugestão é colar papel preto com tamanho e posição adequados. Quanto maior for o contraste, melhor será a experiência, que, pronta, deverá ficar conforme a Fig. 5.

Apesar de sabermos que as linhas horizontais estão retas, nossos olhos nos mostram o contrário. Isso ocorre porque ao olharmos para figuras com grande diferença de contraste (claro e escuro, por exemplo), nossa pupila abre e fecha, deixando passar maior ou menor quantidade de luz. Ao olhar para as partes pretas do desenho a pupila aumenta de tamanho para que a luz possa entrar e para que se possa ver melhor aquele objeto. Por outro lado, ao olhar para as partes claras do desenho, a pupila diminui de tamanho para que passe menos claridade. Esse processo acontece muito rapidamente e, apesar de produzir uma importante sensação de profundidade, cansa-se a retina. É devido a essa sensação de profundidade que as linhas, que antes pareciam retas, agora aparentam estar tortas. Então quanto maior o contraste entre claro

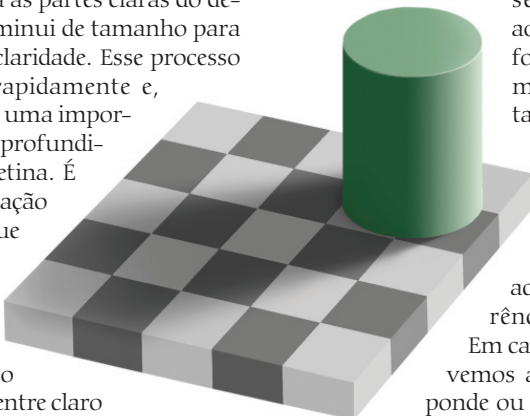


Figura 4 - Ilusão de contraste 3D. Fonte: <http://www.mdig.com.br>.



Figura 3 - Ilusão de contraste. Fonte: <http://www.mdig.com.br>.

e escuro melhor será a experiência, pois mais vezes será necessário aumentar e diminuir o tamanho da retina, aumentando a sensação de profundidade e a ilusão de óptica.

### "Bingando" seus conhecimentos

#### Materiais

- folhas de papel;
- caneta;
- régua;
- tesoura;
- cola.

#### Como fazer

Recortamos a folha de papel em tiras e escrevemos em cada uma das tiras uma pergunta (ou frase a ser completada) referente ao conteúdo abordado. Colocamos os papéis já dobrados em uma sacola, de onde serão retirados na realização do sorteio. Depois preparamos as cartelas que serão distribuídas aos alunos: em cada folha de papel traçamos linhas horizontais e verticais, formando nove quadrados grandes (o número de quadrados poderá ser maior, de acordo com a preferência do professor). Em cada quadrado escrevemos a palavra que responde ou completa uma das

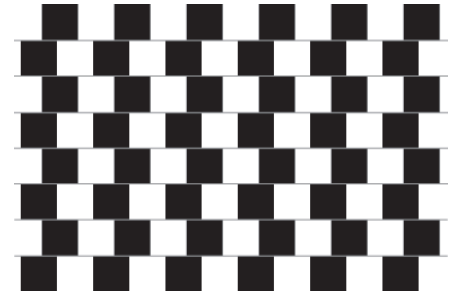


Figura 5 - Entortando linhas paralelas. Fonte: <http://bergamota.net/ilusoes-de-otica/>.

frases que poderão ser sorteadas.

A seguir, há 42 sugestões de questões que podem ser utilizadas no bingo:

- Qual é a cor complementar do vermelho? \_\_\_\_\_.
- Qual é a cor complementar do amarelo? \_\_\_\_\_.
- As cores primárias dos pigmentos são \_\_\_\_\_.
- As cores primárias das radiações eletromagnéticas são \_\_\_\_\_.
- A frequência de uma onda é \_\_\_\_.
- O comprimento de uma onda é \_\_\_\_\_.
- Quanto maior for a frequência da onda, maior será a \_\_\_\_\_.
- Qual é a diferença entre onda eletromagnética e onda mecânica?
- A luz é uma onda \_\_\_\_\_.
- As cores servem para \_\_\_\_\_.
- As cores quentes são \_\_\_\_\_.
- As cores \_\_ são exemplos de cores quentes.
- As cores quentes devem/são empregadas principalmente em \_\_\_\_\_.
- As cores frias são exemplo \_\_\_\_\_.
- As cores são exemplos de cores frias.
- As cores frias são empregadas principalmente em \_\_\_\_\_.
- Por que apenas vemos uma frequência ínfima de radiações?
- O que são cones e bastonetes?
- Qual a função dos cones e dos bastonetes?
- O que são *pixels*?
- Onde podemos observar os *pixels*?
- Um exemplo de onda mecânica é o \_\_\_\_\_.
- Um exemplo de onda eletromagnética é a \_\_\_\_\_.
- A radiação do espectro eletromagnético é produzido \_\_\_\_\_.
- O que é necessário para que nós possamos enxergar?
- A reflexão difusa é \_\_\_\_\_.
- O que é crista de uma onda?
- O que é o vale de uma onda?
- O que são fótons?
- O que são ondas longitudinais?

- O que são ondas transversais?
- O que é absorção?
- A cor dos objetos depende do que?
- A mistura (em iguais proporções) dos pigmentos primários forma qual cor?
- A mistura (em iguais proporções) da luz nas cores primárias forma qual cor?
- Por que a temperatura do nosso corpo aumenta mais ao usarmos uma camiseta preta do que se usarmos uma camiseta branca?
- O período de uma onda é \_\_\_\_\_.
- A tonalidade de um corpo depende do que?
- Temos uma bola vermelha (quando iluminada com a luz solar), iluminamos com luz verde. Que cor esta bola terá?
- Temos uma bola vermelha (quando iluminada com a luz solar), iluminamos com luz vermelha. Que cor esta bola terá?
- Temos uma bola verde (quando iluminada com a luz solar), iluminamos com uma luz verde. Que cor esta bola terá?
- Temos uma bola verde (quando iluminada com a luz solar), iluminamos com uma luz vermelha. Que cor esta bola terá?

Deve-se tomar cuidado para que cada cartela contenha respostas diferentes das demais cartelas, diminuindo a probabilidade de haver empates. O professor deve sortear uma pergunta ou frase de cada vez e o aluno que completar primeiro sua cartela será o vencedor do bingo.

### Como vemos?

A luz visível é composta por ondas

eletromagnéticas. O espectro de cores é caracterizado por frequências distintas: no caso das cores primárias da luz, vermelho apresenta frequência mais baixa, seguida por verde e, finalmente, a cor azul, que apresenta mais alta frequência entre as cores primárias. A frequência é diretamente proporcional à energia, assim, quanto maior a frequência, mais energia é transportada.

**O ponto cego é muito conhecido pelos motoristas, que precisam ter atenção dobrada ao fazer ultrapassagens**

As ondas eletromagnéticas entram nos olhos através de um orifício denominado pupila. Passam depois por vários meios, como mostra a Fig. 6, que possuem o objetivo de aproximar os raios de luz. Em olhos sadios, eles cruzam-se na retina.

Segundo Okuno e Caldas [2], na retina há dois tipos de células, os cones e os bastonetes. Os bastonetes apresentam sensibilidade à claridade e são encontrados em maior número nas extremidades do olho. Já os cones estão presentes em maior número no centro do olho e apresentam sensibilidade a diferentes frequências: alguns são sensíveis à do azul, outros à do verde e outros à do vermelho.

De acordo com Gaspar [3], as ondas são compostas de pequenos pacotes de energia denominados de fótons, ou ainda, *quanta*. Como a frequência e a energia são diretamente proporcionais, se temos uma onda com maior frequência, teremos fótons mais energéticos: o azul apresenta frequência mais alta, o verde é intermediário e o vermelho apresenta menor frequência. Estes fótons, ao atingirem o olho, são absorvidos e liberam elétrons dos cones correspondentes às frequências incidentes. Segundo Garcia [4], esses elétrons,

que possuem energias diferentes, são levados pelo nervo óptico ao córtex visual, no cérebro, onde cada energia diferente é interpretada como uma cor diferente.

Todas as cores que vemos são uma mistura dessas três cores percebidas pelos cones, ou seja, são uma mistura dessas frequências principais. Assim, estas três cores são denominadas cores primárias da luz, ou luzes primárias. As cores secundárias surgem quando se incidem sobre os cones, na retina, duas frequências primárias, que irão liberar elétrons com duas energias diferentes. O cérebro aglutina essas energias e as interpreta como uma cor única. Dessa forma, se incidimos na retina luzes azul e vermelha, por exemplo, o cérebro interpretará como a cor violeta.

Quando as ondas eletromagnéticas não incidem na retina e sim no nervo óptico, não ocorre formação de imagem. Esse ponto é chamado de ponto cego e justifica por que algumas vezes um objeto “some” de nossa vista e, ao mudarmos de posição, o objeto reaparece. Esse efeito é muito conhecido por motoristas, que devem ter atenção dobrada ao ultrapassar outros veículos.

Outro fenômeno que pode ocorrer é o contraste: algumas cores, quando colocadas próximas umas das outras, nos dão essa sensação. Geralmente se atribui essa sensação à diferença entre claro e escuro ou preto e branco; entretanto, existem outras cores que nos dão a mesma sensação: são as chamadas cores complementares. Essas cores, quando colocadas muito próximas umas das outras, dão uma sensação de choque e são muito utilizadas, por exemplo, no esporte, para distinguir um time de outro, e no trânsito, em placas ou faixas pintadas no chão, a fim de chamar atenção e evitar acidentes. Segundo Figueiredo e Pietrocola [1], o contraste pode ser calculado matematicamente, utilizando a expressão de Michelson

$$\text{Contraste} = \frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{L_{\text{máx}} + L_{\text{mín}}}$$

ou através da definição de Weber

$$\text{Contraste} = \frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{L_{\text{máx}}}$$

onde  $L_{\text{máx}}$  indica a luminância em superfícies claras e  $L_{\text{mín}}$  a luminância em superfícies escuras. A luminância é a quantidade de luz em uma determinada área. Essa quantidade pode ser medida pela fotometria, utilizando equipamentos como o fotômetro Flimmer, e não será aqui apro-

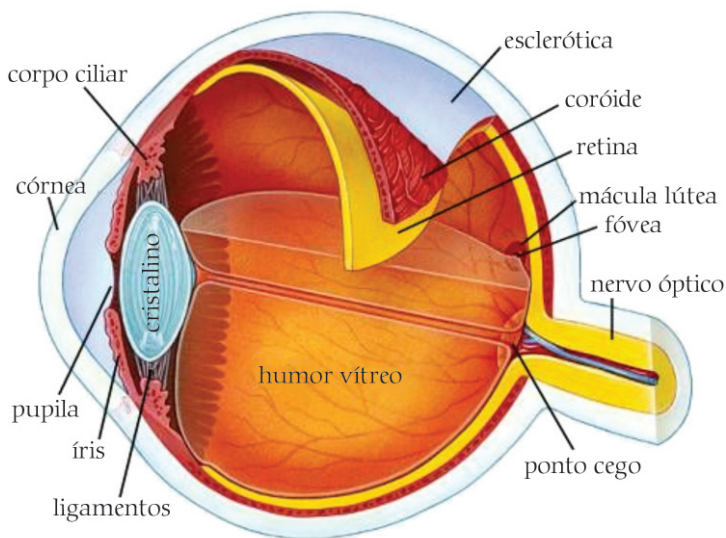


Figura 6 - O olho e suas partes. Fonte: [www.brasilecola.com/fisica](http://www.brasilecola.com/fisica).

fundada.

Outro exemplo de contraste ocorre quando olhamos durante algum tempo para um objeto vermelho e depois para uma parede branca. Veremos a cor ciano (cor complementar do vermelho). Isso ocorre porque nosso organismo tenta compensar a falta de elétrons nos cones sensíveis ao vermelho, ejetando elétrons dos outros dois tipos de cones. Como nosso cérebro interpreta azul mais verde como ciano, esta será a cor complementar ao vermelho e, por consequência, será vista na parede branca quando o estímulo vermelho cessar. Este efeito pode inclusive atrapalhar ou confundir nossa visão e ocorre para qualquer cor. Há alguns anos, todas as paredes e uniformes usados em hospitais eram da cor branca. Entretanto, locais como os centros cirúrgicos e UTI's não mais utilizam essa cor. Essa mudança foi necessária porque os trabalhadores da saúde permanecem muito tempo em contato com sangue, que tem cor vermelha, e ao olhar para suas roupas ou para as paredes do ambiente, viam várias manchas na cor ciano, que é complementar ao vermelho. Para diminuir tal sensação, nesses locais hoje são utilizados uniformes nas cores azul, verde ou ciano.

São apresentadas na Fig. 7 as cores complementares no disco de cores, sendo as cores opostas as que mais contrastam uma com a outra. Assim, a cor que mais contrasta com o vermelho é o ciano, como dito anteriormente. O mesmo acontece com o azul e o amarelo e com o magenta e o verde. Se a cor é primária, contrasta sempre com uma secundária e vice-versa.

Na mesma figura, as cores que aparecem próximas umas das outras são denominadas cores harmônicas ou análogas, como, por exemplo, o azul esverdeado e o ciano. A principal característica dessas co-

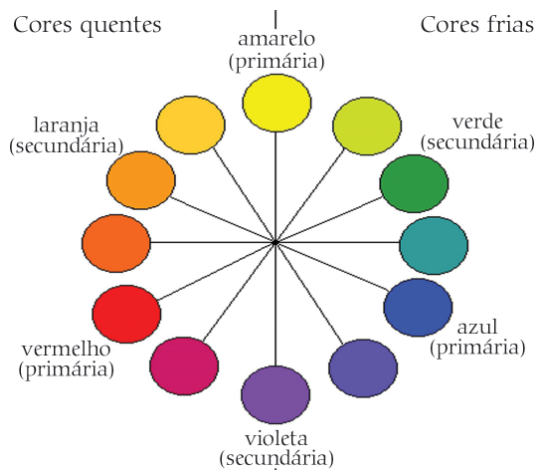


Figura 7 - Cores complementares. Fonte: <http://pt.wikipedia.org>.

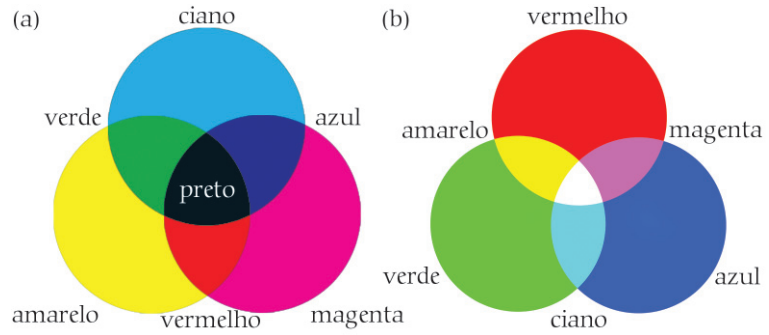


Figura 8 - Mistura das cores (a) pigmento. b) luz. Fonte: <http://www.univ-ab.pt/~bidarra/hyperscapes/video-grafias-210.htm>.

res é apresentar uma cor em comum, neste exemplo, o verde, dificultando a distinção entre elas. Além disso, quanto mais pálidas forem as cores, mais difícil é localizar o ponto onde começa uma e termina a outra.

Pode-se também fazer contrastes entre cores quentes (derivadas do vermelho, como o alaranjado) e cores frias (oriundas do azul, como o violeta); as cores quentes têm maior comprimento de onda e a lente do olho (cristalino) precisa se moldar, engrossando, para poder vê-las. As cores frias (com menor comprimento de onda), por sua vez, afinam as lentes oculares durante sua visualização. O efeito visual resultante é um processo contínuo de avanço e recuo do cristalino do olho, causando belos efeitos de profundidade e, em contrapartida, grande cansaço visual.

Precisamos ressaltar ainda que as cores primárias de pigmentos são diferentes das cores primárias das radiações eletromagnéticas. Enquanto as cores primárias dos pigmentos são o ciano, o amarelo e o magenta, para o espectro da luz visível são o vermelho, o verde e o azul. Se somar-

mos, através de interferência construtiva, a frequência da luz azul, do vermelho e do verde, teremos branco. Se somarmos, em igual quantidade, os pigmentos amarelo, ciano e magenta, a luz que incide sobre a junção de pigmentos será completamente absorvida, sendo transformada em aumento de temperatura e fazendo com que vejamos a cor preta.

Essas misturas são apresentadas na Fig. 8.

Para modificar a tonalidade presente nas cores, se referindo a maior ou menor quantidade de luz refletida na cor, acrescentamos pigmentação preta para escurecer e branca para clarear, conforme Fig. 9. Quando acrescentamos mais branco à imagem, ela reflete mais luz, e quando for mais escura, absorverá mais luz.

Quando a cor não apresenta nenhum elemento de preto, cinza ou branco, ela é chamada de cor saturada, cor forte ou cor pura. Outra característica dessas cores é não se dispersarem na atmosfera ou à distância.

### Considerações finais

Em muitas escolas brasileiras, o ensino de ciências utiliza metodologias basea-

**Na maioria dos hospitais as paredes e os uniformes da cor branca foram substituídos pelas cores azul, verde ou ciano. O contato com o sangue fazia com que os funcionários vissem manchas na cor complementar ao vermelho, que é o ciano, atrapalhando seu trabalho**



Figura 9 - Tonalidade das cores. a) Mistura gradativa com branco. b) Mistura gradativa com preto. Fonte: <http://www.univ-ab.pt/~bidarra/hyperscapes/video-grafias-210.htm>.

das na repetição, onde o aluno ouve várias vezes a mesma frase para “aprender” um conceito ou aplica várias vezes a mesma fórmula no mesmo tipo de exercício para “aprender” a resolver problemas. É evidente que alguns alunos aprendem com esta metodologia, mas a maioria dos alunos apresenta dificuldade para lembrar os conteúdos, mesmo decorrido pouco tempo desde sua “aprendizagem”.

Para facilitar a aprendizagem é preciso que o conteúdo seja, pelo menos, interessante para o aluno. De acordo com Freire [5], é preciso aguçar a curiosidade do estudante, a curiosidade enquanto desafio de seus conhecimentos, enquanto desestabilizadora de suas ideias provisórias. Segundo ele, “o exercício da curiosidade convoca a imaginação, a intuição, as emoções, a capacidade de conjecturar, de comparar, na busca de perfilização do objeto” [5, p. 88]. E é função do professor adotar

estratégias neste sentido, mas sem esquecer seu objetivo.

Diversos estudos [1, 6, 7] apontam para a ludicidade como fonte de motivação. Entre essas atividades lúdicas têm-se os jogos, as brincadeiras, as atividades experimentais, etc. Estas atividades permitem que sejam criadas e propostas novas atividades, com abordagens alternativas do conteúdo. Possibilitam ainda o melhor entendimento de conceitos e equações, através de questionamentos não habituais.

A partir dessa premissa, acreditamos que as ilusões de óptica possuem um potencial motivador para o ensino de física. Tais atividades provocam a curiosidade dos alunos, pois se relacionam com a sua realidade. O estudo das cores é potencialmente interdisciplinar e, portanto, pode ser utilizado em projetos que envolvam várias disciplinas, como biologia, artes, história e física.

## Referências

- [1] A. Figueiredo e M. Pietrocola, *Física, Um Outro Lado: Luz e Cores* (FTD, São Paulo, 2002).
- [2] E. Okuno e Iberê L. Caldas, *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas* (Harbra, São Paulo, 1982).
- [3] A. Gaspar, *Física: Ondas, Óptica, Termodinâmica* (Ática, São Paulo, 2003).
- [4] Eduardo A.C. Garcia, *Biofísica* (Sarvier, São Paulo, 2002).
- [5] P. Freire, *Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários À Prática Educativa* (Paz e Terra, São Paulo, 1996).
- [6] A. Medeiros e C.F. Medeiros, *Caderno Brasileiro do Ensino de Física* **22**, 299 (2005).
- [7] J. Hilgert, R. Arisi, *Os Conteúdos na Educação Informal a Partir da Ludicidade*. Monografia, Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó, 2003.

## Soluções das Perguntas do Editor do v. 12, n. 1

**1** Todos os corpos no ar sofrem a ação de um empuxo igual ao peso do ar deslocado. Portanto, se pesarmos uma bola cheia até uma certa pressão  $P$ , obteremos como resultado

$$M = M_b + M_a - m,$$

onde  $M_b$  é a massa do invólucro de couro da bola,  $M_a$  a massa do ar contido dentro da bola e  $m$  a massa do ar deslocado pela bola.

Desprezando o volume ocupado pelo invólucro da bola e portanto o empuxo por ele provocado, os últimos dois termos da expressão acima devem ser iguais para uma bola que contém ar à pressão atmosférica. O resultado da medida é simplesmente  $M_b$ .

Uma vez que o volume  $V$  da bola praticamente não muda quando a enchemos até a pressão  $P$  desejada, o termo  $m$  da expressão acima praticamente não muda. Portanto se  $M$  for a massa da bola quando cheia até a pressão  $P$  e  $M_0$  até a pressão atmosférica  $P_0$ , então a diferença  $M - M_0$  dividida pelo volume  $V$  da bola nos dará a diferença de densidade do ar nas duas situações

$$\frac{(M - M_0)}{V} = \rho - \rho_0$$

Uma vez que o volume  $V$  praticamente não muda, então o aumento de densidade é diretamente proporcional ao aumento de pressão

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{P}{P_0}.$$

Usando estas duas últimas igualdades é fácil obter

$$P = P_0 + \left(\frac{P}{\rho_0}\right) \times \left(\frac{M - M_0}{V}\right).$$

A diferença das massas é obtida usando-se a balança e o volume pode ser obtido medindo o diâmetro da bola com a régua. Os valores da pressão atmosférica e densidade do ar à pressão atmosférica podem ser obtidas de uma tabela. Estes resultados podem ser melhorados se usarmos os respectivos valores na temperatura em que o experimento for realizado.

**2** Suspenda os dois pêndulos e solte-os simultaneamente. Passado um tempo, o pêndulo de período menor deixará o outro “para trás”. Se esperarmos mais um tempo, eles entrarão em fase novamente. Caso o pêndulo mais rápido

tenha realizado  $n$  oscilações até isto ocorrer, o pêndulo mais lento terá realizado  $(n - 1)$  oscilações. O tempo de coincidência será

$$nT_1 = (n - 1) T_2,$$

onde  $T_1$  e  $T_2$  são os períodos do pêndulo mais rápido e do mais lento, respectivamente. Ou seja, conhecendo um dos períodos e contanto o número de oscilações  $n$  até o momento em que eles novamente se encontram em fase, podemos calcular o período do outro pêndulo.

**3** Para determinar a altura de uma árvore em um dia de sol proceda da seguinte maneira: chamemos a altura de segmento AB. Meça primeiramente o comprimento da sombra que a árvore projeta no chão. Chame esta distância de BC. Em seguida, coloque a régua na vertical (a altura da régua é  $A_r B_r$ ), marque o comprimento de sua sombra no chão e meça-o. Chame este comprimento de  $B_r C_r$ . Por semelhança de triângulos temos:

$$AB = BC \times (A_r B_r / B_r C_r).$$