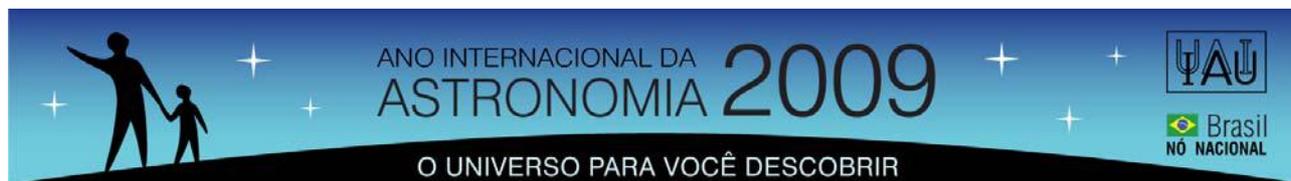


# Carta do Editor

## 2009 – Ano Internacional da Astronomia



**E**ntre conversas com o neurocientista Miguel Nicolelis sobre o uso de nanochips no cérebro e experimentações lúdicas com seu neto de 8 anos, Sérgio Mascarenhas, 80 anos, desenvolve ainda intensa atividade intelectual. Seu interesse primordial pelo ensino de ciências é um dos marcos de sua carreira acadêmica. Nesta edição da FnE, Sérgio relembra um simples experimento que seus alunos do Instituto Hebreu do Rio de Janeiro desenvolveram há 60 anos. O experimento para determinação da aceleração da gravidade foi reproduzido por Felipe de Souza usando tecnologia moderna. Simples e instigante o colar harmônico! Ainda no tema da queda livre dos corpos, Francisco Caruso analisa concepções alternativas de estudantes a partir das respostas de vestibulandos do Rio de Janeiro.

Esse número está repleto de óptica. Uma bem bolada caixa de cores é proposta por professores de escolas do ensino médio da região de São Carlos para o estudo da mistura de luzes coloridas, um tema pouco abordado no nosso ensino. A “caixa” é um equipamento de baixo custo que pode ser reproduzido sem maiores dificuldades e usado em sala de aula. A lua cheia, a cor do céu e as fases da Lua são examinadas com clareza no artigo do fisi-

co Fernando Lang e da astrônoma Maria de Fátima de Oliveira Saraiva. Francisco Catelli e equipe ensinam como usar uma câmara digital para registrar com boa resolução imagens obtidas por telescópios e microscópios.

Falando em telescópios, 2009 é o Ano Internacional da Astronomia. Eventos em todo mundo e, é claro, também no Brasil, serão realizados para comemorar os 400 anos desde as primeiras observações telescópicas de Galileu Galilei usando o recém-descoberto instrumento por ele aperfeiçoado. Galileu, além de sábio notável, foi um grande divulgador científico. Publicou em março de 1610 um livreto de apenas 24 páginas, que tinha o título latino de *Sidereus Nuncius (Mensageiro das Estrelas)* em que comunicou ao mundo a maior parte das suas descobertas astronômicas sobre a Lua, as estrelas e Júpiter. A obra causou enorme impacto nos seus contemporâneos e logo conquistou os meios cultos da Europa. O livro foi dedicado a Cosimo II, chefe da poderosa família Medici, e as luas de Júpiter foram batizadas por Galileu com o nome de “astros mediceus”.

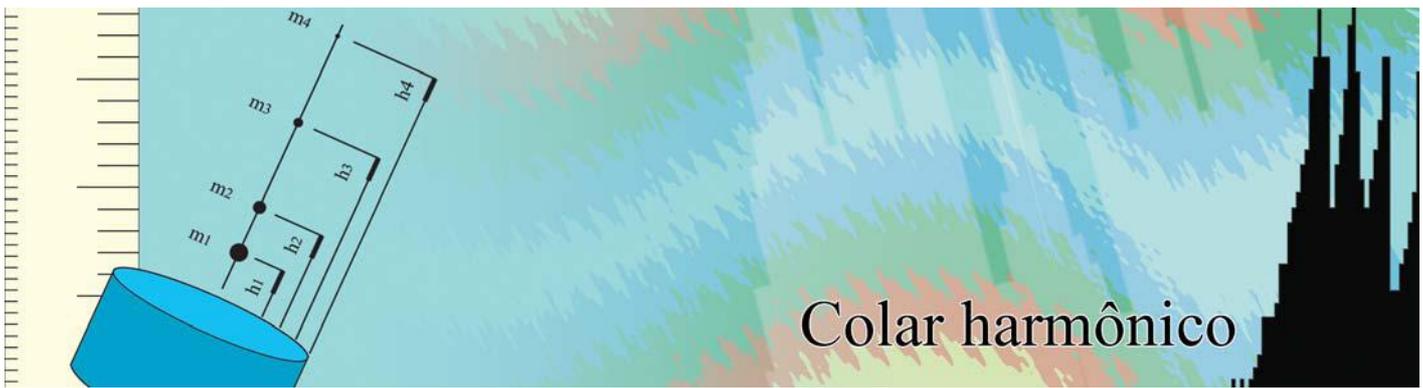
Na programação brasileira, que pode ser encontrada em [www.astronomia2009.org.br](http://www.astronomia2009.org.br), são fortemente enfatizadas a educação e a popularização da astronomia

visando ao envolvimento do público e ao engajamento dos jovens na ciência, através de atividades locais, nacionais e globais. Os professores de ciências e, em especial, os de física, estão convocados a organizar eventos em sua escola e em sua cidade e participar das atividades programadas.

Uma iniciativa meritória de Francisco Caruso e Victor Oguri merece divulgação: a criação do site <http://dfnae.fis.uerj.br/livros/>, destinado a cadastrar todos os livros publicados em língua portuguesa onde a física esteja incluída. A lista contempla todos os níveis de ensino, do fundamental à pós-graduação, incluindo também divulgação científica, história e filosofia.



*Nelson Stuard*



## Colar harmônico

### Felipe Castilho de Souza

Instituto de Física de São Carlos,  
Universidade de São Paulo, São Carlos,  
SP, Brasil

E-mail: felipe.castilho1@gmail.com

### Sérgio Mascarenhas

Instituto de Estudos Avançados,  
Universidade de São Paulo, São Carlos,  
SP, Brasil

E-mail: sm@usp.br

**S**e soltarmos ao mesmo tempo e da mesma altura duas esferas de massas diferentes, qual delas chegará primeiro ao chão? Os gregos acreditavam que o objeto de maior peso chegaria primeiro ao solo, ou seja, o tempo gasto na queda seria menor. Estariam certos os gregos?

Existe uma lenda de que o físico italiano Galileu Galilei (1564–1642) realizou uma célebre experiência, no início do século XVII, que desmentiu a crença dos gregos. Conta-se que ele pediu a um voluntário que subisse até o topo da Torre de Pisa e de lá abandonasse, ao mesmo tempo, dois corpos de massas diferentes. Para surpresa de todos os presentes, os dois corpos chegaram ao mesmo instante no solo. Essa história nunca foi confirmada, mas Galileu teria demonstrado de forma convincente, pela primeira vez, que objetos de pesos diferentes caem com uma mesma velocidade, quando abandonados de uma mesma altura.

Segundo Almeida [1], para a ciência foi a passagem da autoridade teológica e da tradição aristotélica para o início de uma nova ciência, que utilizaria o método experimental baseado na linguagem matemática.

*Parece-me que, nas discussões de problemas concernentes à natureza, não se deveria começar com a autoridade de passagens das Escrituras, mas com as experiências sensíveis e com as demonstrações necessárias [2, p. 316].*

De acordo com Mascarenhas [3],

*Precisamos começar com hipóteses (modelos), obter delas previsões experimentais e, finalmente, realizar os experimentos e compará-los com os valores esperados. Valores esses que*

*indicarão quão próximas as hipóteses estão da realidade natural. Isto é, sem a validação da própria natureza não poderemos construir conhecimentos úteis, que nos ajudem a construir bases para ampliar nosso entendimento do mundo natural.*

Será que atualmente os adolescentes em idade escolar pensam como os gregos da antiguidade? Segundo Fiolhais [4], estudantes de diferentes idades e níveis de conhecimento iniciam seus estudos na área de ciências, principalmente em física, com idéias muito similares, porém inconsistentes com os conceitos que pretendem transmitir. Possuem, na maioria das vezes, concepções iniciais com uma base indutiva muito forte e resistente a novas instruções. Estudo recente [5] tem apontado para o fato de que atividades experimentais são fundamentais no processo de ensino-aprendizagem, além de serem uma maneira profícua de minimizar as dificuldades de se transmitir conceitos de física.

Baseado no fato dos estudantes possuírem pré-concepções difíceis de serem trabalhadas na área de física, e inspirado no depoimento da vivência didática de um professor universitário, apresentamos nesse trabalho um experimento de baixo custo para estudos do fenômeno de queda livre e conservação de energia no ensino médio.

### Depoimento de Sérgio Mascarenhas

*“Quando eu tinha 20 anos e fui dar aulas no Colégio Hebreu Brasileiro, eu precisava de dinheiro, pois queria me casar; fui dar aulas no antigo científico, acho que hoje é ensino médio, não sei... pessoal super-bacana aquele... judeu é “fogo”, eles se preocupam muito com a educação de seus filhos... eu adorava dar aulas para eles,*

Nesse trabalho relatamos uma experiência de física proposta por um dos autores, Sérgio Mascarenhas, então professor de ginásio e hoje professor emérito da USP e realizada por seus alunos do Colégio Hebreu Brasileiro, na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1950. A experiência abordava o conceito de movimento uniformemente acelerado. Tendo em vista a incorporação da memória relativa às vivências educacionais, esse experimento de grande praticidade foi novamente realizado. Nossa proposta alia os conceitos de conservação de energia mecânica, movimento uniformemente variado e força gravitacional à construção de um experimento de baixo custo e conceitualmente significativo.

sempre fazia experiências “domésticas” com materiais do dia-dia.

Eu estava dando mecânica, você sabe, física “feijão com arroz” queda livre, meio de “gt2”... então fiz um desafio para eles fazerem algo diferente, colocarem 4 ou 5 pedras em uma corda esticada no alto, e deixar cair sobre um tambor, e fazer assim (o professor bate com as mãos reproduzindo o som esperado).

Depois disso foi a maior confusão, pais foram reclamar na escola: “aquele professorzinho louco!” pois alunos estavam trepando no teclado, lógico o que interessava a eles eram grandes alturas... isso aconteceu quando eu tinha 24 anos, hoje estou com 79... faz tempo “pra burro”.

Ano passado quando fui à Brasília receber um prêmio do Lula, os caras me viram na televisão “aquele professorzinho que gostava de chocolate” e me telefonaram... mas agora os caras estão ricos, médicos, cirurgiões, agentes imobiliários... eles me disseram: “nós vimos o senhor na televisão, e queremos recebê-lo aqui no Rio, a turma ainda existe e nós não esquecemos aquelas aulas...” Oh, fico até arrepiado de lembrar, é muito gratificante... então eu respondi que só iria se fosse para dar uma ‘aula arqueológica’...

Receberam-me em um clube muito luxuoso no Rio, pagaram tudo, inclusive o avião, foi a maior festa depois daquela aula. Aí então resolvi relembra essa experiência através de uma nova demonstração, quase 60 anos depois.”

## Experimento com materiais de baixo custo

O experimento consiste na construção de um colar com linha de pesca e pedaços de chumbada<sup>1</sup> e deixá-lo cair em queda livre sobre uma superfície a fim de produzir sons em uma cadência pré-estipulada.

O colar é montado com linha de pesca n. 0,25 (por possuir massa praticamente desprezível) e massas de chumbo fixadas com distâncias entre si previamente calculadas. Depois de montado o colar é suspenso a uma determinada altura e solto sobre uma lata vazia, conforme a Fig. 1. O som emitido quando as massas tocam a superfície é capturado com um gravador digital e analisado com um programa de edição de áudio (utilizamos o programa DirectCut,<sup>2</sup> esse tipo de programa exibe um gráfico de intensidade vs. tempo). Mediante a projeção gráfica dos sons é possível analisar a conservação de energia durante o fenômeno da queda livre e comprovar a frequência e/ou cadência dos sons produzidos, conforme a Fig. 2.

## Construção e cálculos

Iniciamos questionando os alunos uma maneira de construir um colar com pedaços de chumbo e linha de pesca, colar este que deve emitir sons em cadência e com ruídos na mesma intensidade. Primeiramente estipulamos uma frequência de 5 Hz para as massas de chumbo (as quais passaremos a chamar simplesmente de “massas”) atingirem a lata, depois determinamos como quatro o número de massas a serem fixadas à linha de pesca, onde a primeira massa deverá estar posicionada a 10 cm do solo e possuir 35 g.

Tomando a fórmula

$$T = 1/f,$$

onde  $T$  representa o período de tempo entre uma massa e outra tocando a lata, e  $f$  representa a quantidade de sons produzidos pelas massas dentro de um intervalo de tempo qualquer (no SI seria dentro de um segundo), calculamos que  $T$  deve ser igual a 0,2 s.

Partindo da expressão

$$h = 1/2gt^2, \quad (1)$$

onde a quantidade  $h$  representa o espaço percorrido em queda livre durante um tempo  $t$ , e  $g$  é a aceleração com que os corpos caem em queda livre, calculamos as alturas para as massas atingirem a lata com 0,2 s de intervalo entre cada massa, resultando na Tabela 1.

Como se sabe, quando um corpo de massa  $m$  estiver a uma altura  $h$  do solo, ele terá uma energia potencial

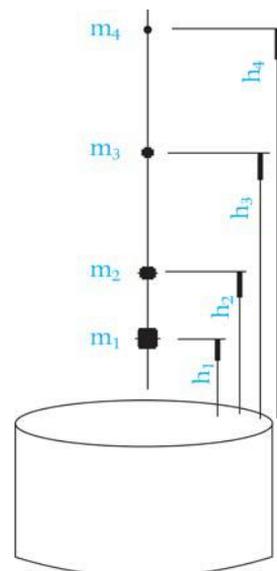


Figura 1 - Colar com as chumbadas.

$$E_{pg} = mgh. \quad (2)$$

Quando o corpo começa a percorrer a distância  $h$  em queda livre, ele adquire uma energia cinética, também conhecida como energia de movimento, dada por

$$E_c = 1/2mv^2. \quad (3)$$

A energia potencial gravitacional (Eq. (2)) será totalmente convertida em energia cinética (Eq. (3)) no exato momento em que o corpo tiver percorrido a distância  $h$ . Deste modo teremos

$$mgh = 1/2mv^2$$

De posse das alturas (Tabela 1) e com

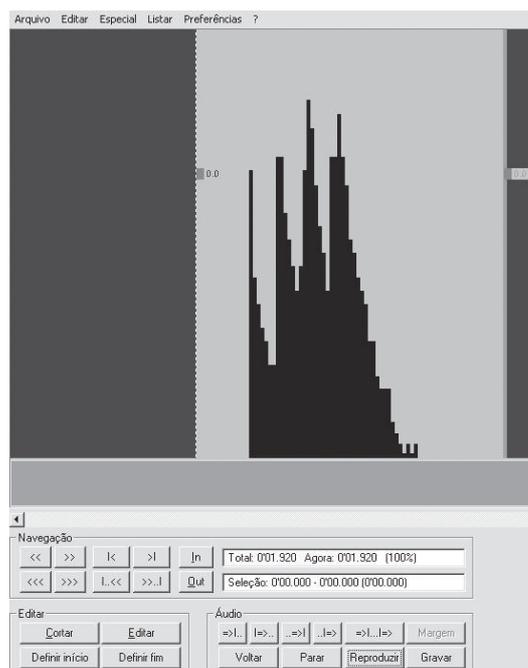


Figura 2 - Gráfico gerado pelo programa DirectCut.

Tabela 1 - Alturas calculadas mediante a Eq. (1).

	massa 1	massa 2	massa 3	massa 4
Tempo [s]	$t_1 = 0,142$	$t_2 = 0,342$	$t_3 = 0,542$	$t_4 = 0,742$
Alturas [m]	$h_1 = 0,10$	$h_2 = 0,58$	$h_3 = 1,44$	$h_4 = 2,71$

Tabela 2 - Massas calculadas para uma mesma energia potencial.

	massa 1	massa 2	massa 3	massa 4
Massa [kg]	$m_1 = 0,035$	$m_2 = 0,006$	$m_3 = 0,0024$	$m_4 = 0,0013$
Alturas [m]	$h_1 = 0,10$	$h_2 = 0,58$	$h_3 = 1,44$	$h_4 = 2,71$

a massa do primeiro corpo de 35 g e altura inicial de 10 cm conforme previamente estipulado, foi possível calcular valores para que as massas possuam energias potenciais gravitacionais iguais entre si e conseqüentemente produzam sons na mesma intensidade

$$E_{pg1} = E_{pg2} = E_{pg3} = E_{pg4}$$

$$m_1gh_1 = m_2gh_2 = m_3gh_3 = m_4gh_4$$

Novamente partindo da Eq. (1) para queda livre, mas agora isolando o termo  $g$  da equação, obtemos

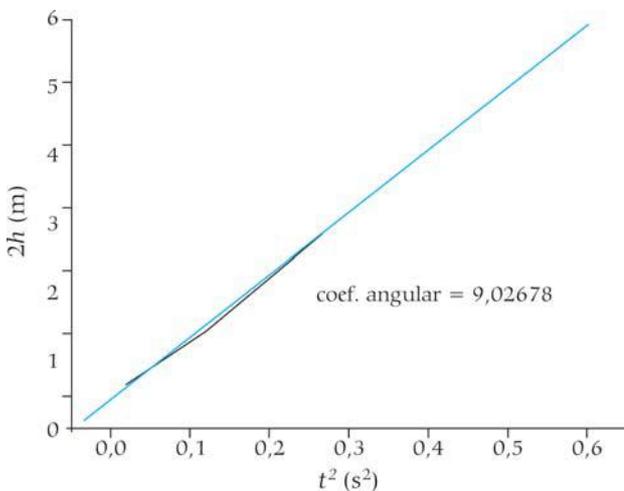


Figura 3 - Representação gráfica da Eq. (4).

$$g = 2h/t^2. \quad (4)$$

Utilizando os dados das Tabelas 1 e 2, construímos um gráfico cujo coeficiente angular representa o valor aproximado da aceleração gravitacional.

### Conclusão

No gráfico gerado a partir do programa de edição de áudio foi possível constatar a igualdade dos intervalos de tempo entre os objetos (comprovando os resultados calculados a partir da fórmula de queda livre) e as intensidades semelhantes de cada som emitido por cada massa (comprovando os resultados obtidos pela fórmula da energia potencial).

O aumento nas intensidades dos sons que foi observado no gráfico é resultado da reverberação que aumenta o tempo em que o som é percebido. Esse fenômeno ocorre no interior da lata e para diminuir esse efeito é aconselhável fazer aberturas em suas laterais a fim de que o som não fique "preso" em seu interior.

O experimento proporcionou uma razoável precisão na demonstração da força gravitacional (em

relação a experiências como o pêndulo, por exemplo), além de evidenciar sua simplicidade conceitual. Por possuir um baixo custo de construção e aplicação, pode facilmente ser montado e demonstrado em sala de aula, podendo ser uma possibilidade de transição de modelos tradicionais de ensino para a construção de uma forma alternativa de ensinar física no ensino médio.

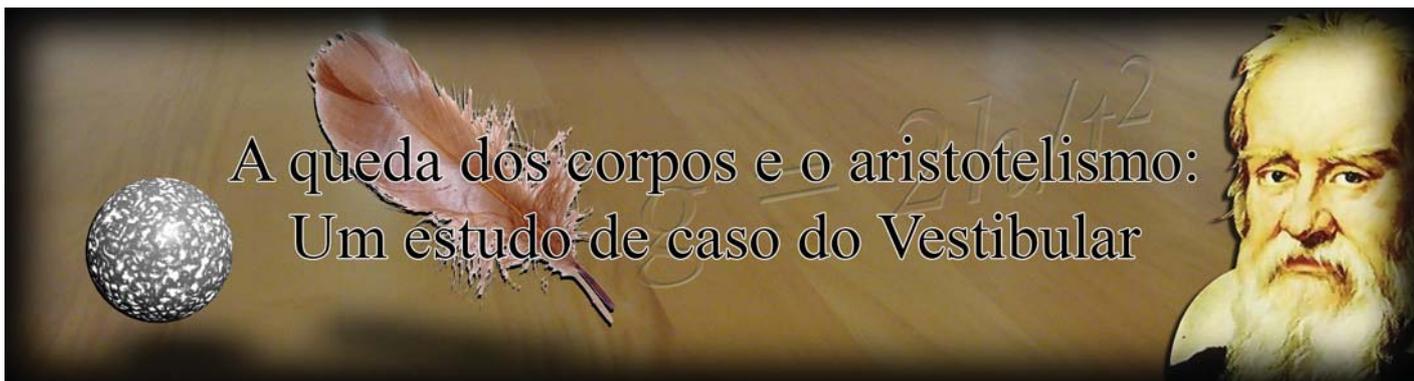
### Notas

<sup>1</sup>O termo na verdade refere-se a qualquer objeto pesado atado à extremidade da linha de pesca para viabilizar seu arremesso a distância e manter os anzóis e iscas abaixo da superfície da água. Pelo seu baixo preço e densidade relativamente alta, estes objetos são tradicionalmente confeccionados em chumbo, daí sua denominação.

<sup>2</sup>Software gratuito para edição de áudio disponível no site oficial <http://www.mpsch3.de/>.

### Referências

- [1] A. Almeida, Filosofia da Ciência, Set. (2004). Disponível em <http://criticanarede.com/filosoficiencia.html>. Acesso em Jul/2007.
- [2] Galileo Galilei, *Carta a Cristina de Lorena Y otros Textos sobre Ciência Y Religión* (Alianza Editorial, Madri, 1984).
- [3] S. Mascarenhas, *Jornal A Cidade*, Ribeirão Preto, Jan/2007. Disponível em <http://www.jornalacidade.com.br/canais/ciencia/index.php>. Acesso em Jan/2007.
- [4] C. Fiolhais, in 1º Colóquio de Física do Instituto Politécnico de Tomar. Disponível em [http://nautilus.fis.uc.pt/softc/Read\\_c/RV/virtual\\_water/articles/art3/art3.html](http://nautilus.fis.uc.pt/softc/Read_c/RV/virtual_water/articles/art3/art3.html). Acesso em Jul/2007.
- [5] M.S.T. Araújo e M.L.V.S. Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176, (2003).
- [6] R.P. Crease, *Os 10 Mais Belos Experimentos Científicos* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2006).



Os exames de Vestibular baseados em provas objetivas (com questões de múltipla-escolha), em princípio, constituem-se em excelente fonte para uma análise estatística significativamente precisa do grau de conhecimento dos estudantes que estão concluindo o ensino médio sobre um tema específico, dado o grande número de alunos que nele se inscrevem. Particularmente, chamou-nos a atenção o Vestibular da UERJ de 1999. Por um lado, a prova continha duas questões independentes sobre o tema “queda livre”, invariavelmente abordado em sala de aula como parte do tema “movimento” proposto pelo PCN. Por outro, porque se inscreveram no concurso cerca de 60 mil alunos e pudemos ter acesso às análises estatísticas referentes a estas questões.

O objetivo desta nota é apresentar e discutir os resultados dessas duas questões. A forma como o assunto “queda livre” foi abordado neste exame contrapõe, claramente, a visão de Galileu Galilei àquela de Aristóteles e seus seguidores. A dificuldade que uma parte significativa dos alunos manifesta em sala de aula de se libertarem do senso comum aristotélico vai se refletir, diretamente, na distribuição estatística das respostas, como será mostrado.

Não é nossa intenção aqui avaliar os resultados à luz de uma ou outra particular concepção pedagógica, nem tampouco procurar-lhes uma causa. Limitamo-nos a divulgar os dados reais de um

**A prevalência do senso comum em fenômenos físicos presentes no cotidiano do aluno constitui, em princípio, um grande entrave para qualquer projeto de ensino de física moderna no âmbito do ensino médio**

Vestibular muito concorrido, em uma grande capital do país, de forma a provocar uma reflexão crítica por parte de professores, pesquisadores e autores de livros didáticos. Em seguida, apresenta-se um

breve comentário sobre o problema da queda dos corpos, tomando por base três tirinhas produzidas por alunos da Oficina de Educação através de Histórias em Quadrinhos - EDUHQ [1].

Em nossa opinião, a prevalência do senso comum em um fenômeno físico tão presente no cotidiano do aluno - aqui demonstrado através de dois exemplos simples - constitui, em princípio, um grande entrave para qualquer projeto de ensino de física moderna no âmbito do ensino médio e, portanto, merece ser cuidadosamente analisado em um universo mais amplo. Em particular, mostra-se como é simples ensinar o princípio da relatividade de Galileu e o quanto a resposta da segunda questão analisada depende de sua compreensão.

### As questões

As questões às quais nos referimos são as de números 17 e 18 da Prova Objetiva do Vestibular de 1999 da UERJ, reproduzidas na Fig. 1.

### Dados estatísticos sobre os resultados

As distribuições percentuais de respostas dadas a essas duas questões estão reportadas na Tabela 1, bem como alguns dados estatísticos relevantes, tais como o

poder de atração efetivo de cada uma das quatro alternativas, o índice de dificuldade e o poder discriminante de cada uma das questões.

Antes de analisarmos os resultados, alguns comentários gerais sobre a Tabela 1 são necessários. Além do *poder de atração* de cada uma das quatro alternativas de cada questão, que é a percentagem de escolhas para cada alternativa de resposta, apresenta-se,

### F. Caruso

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas,  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
Instituto de Física Armando Dias  
Tavares, Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
E-mail: francisco.caruso@gmail.com.

Analisam-se duas questões sobre o tema “queda livre dos corpos”, que integraram a prova objetiva de física do Vestibular de 1999 da UERJ feita por mais de 60 mil alunos. Verifica-se que a compreensão deste movimento de queda ainda é fortemente baseada no senso comum. A descrição aristotélica deste fenômeno físico ainda é compartilhada por um número surpreendentemente expressivo de alunos do ensino médio que prestaram o referido exame.

### Questão 17

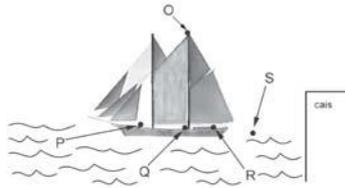
Foi veiculada na televisão uma propaganda de uma marca de biscoitos com a seguinte cena: um jovem casal estava num mirante sobre um rio e alguém deixava cair lá de cima um biscoito. Passados alguns segundos, o rapaz se atira do mesmo lugar de onde caiu o biscoito e consegue agarrá-lo no ar. Em ambos os casos, a queda é livre, as velocidades iniciais são nulas, a altura de queda é a mesma e a resistência do ar é nula.

Para Galileu Galilei, a situação física desse comercial seria interpretada como:

- (A) impossível, porque a altura da queda não era grande o suficiente
- (B) possível, porque o corpo mais pesado cai com maior velocidade
- (C) possível, porque o tempo de queda de cada corpo depende de sua forma
- (D) impossível, porque a aceleração da gravidade não depende da massa dos corpos

### Questão 18

A figura abaixo representa uma escuna atracada ao cais.



Deixa-se cair uma bola de chumbo do alto do mastro - ponto O. Nesse caso, ela cairá ao pé do mastro - ponto Q. Se esta bola for abandonada do mesmo ponto O, quando a escuna estiver se afastando do cais com velocidade constante, ela cairá no seguinte ponto da figura:

- (A) P
- (B) Q
- (C) R
- (D) S

Figura 1 - As questões 17 e 18 do Vestibular da UERJ.

também, o *poder de atração efetivo*, que é o valor corrigido do poder de atração da alternativa correta, considerando-se (descontando-se) a probabilidade de respostas ao acaso. Sendo assim, pode-se, de forma mais rigorosa, pensar que a Questão 17 foi respondida de forma correta e consciente por 33% dos candidatos e a Questão 18, por apenas 16%. Uma forma mais branda de olhar para estes dados é considerar o percentual efetivo como o limite inferior do intervalo de acertos, ou seja, o percentual de alunos que acertaram, respectivamente, as Questões 17 e 18 sem *chute* está entre 33% e 50,48% para a primeira questão, e entre 16% e 37,25% para a segunda. Para facilitar a visualização e a comparação, as distribuições dos percentuais de respostas para as duas questões estão representadas graficamente na Fig. 2.

O índice de dificuldade (ID), apresentado na Tabela 1, foi considerado médio (M) quando os percentuais de acerto estiveram compreendidos entre 30,01% e

70,00%. Este foi o caso para ambas as questões. A sigla IPD - Índice de Poder Discriminante - refere-se ao índice de correlação bisserial de pontos entre os resultados do grupo que acertou a questão e do que errou. Seu valor crítico é 0,30 e a aceitação de uma questão ocorre quando o IPD calculado é maior do que o crítico, como se verifica para ambas as questões.

Portanto, do ponto de vista da dificuldade e do poder discriminante, as duas questões podem ser estatisticamente consideradas boas questões e, o que é importante, com um índice de dificuldade médio.

### Comentários

Viu-se na seção anterior que, no que se refere à Questão 17, o índice de acerto sem *chute* deve estar entre 33% e 50,48%, o que significa aceitar que pelo menos metade dos alunos, ou seja, cerca de 30 mil alunos não souberam responder corretamente a esta questão. Nota-se, ainda que apenas cerca de 53% dos candidatos entenderam, independentemente da justificativa,

### Distribuição percentual de respostas

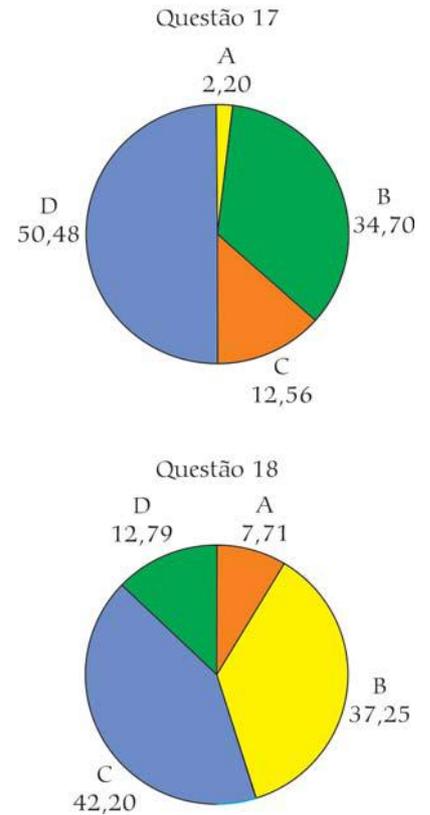


Figura 2 - Gráficos das distribuições percentuais de respostas das duas questões analisadas. Fonte: Departamento de Seleção Acadêmica da UERJ.

que a situação descrita é *impossível* (alternativas A e D).

Um modo simples de apresentar o princípio aqui envolvido pode ser apelar para a brincadeira que se faz com quase todas as crianças sobre o que pesa mais: um quilo de chumbo ou um quilo de algodão? - como mostra a tirinha reproduzida na Fig. 3.

Todo jovem se recente de um dia ter sido enganado por esta pergunta e sente uma certa vergonha deste fato. Assim, fazer uma analogia entre a resposta errada a esta pergunta e uma possível resposta equivocada à indagação de o que chega primeiro ao solo (se lançados de uma mesma altura), uma bolinha de chumbo ou uma de algodão, não só facilitará o aprendizado como também sua fixação.

Já a Questão 18 apresentou um índice

Tabela 1 - Dados estatísticos relevantes sobre as duas questões. Fonte: Departamento de Seleção Acadêmica da UERJ.

Questão	Poder de atração das alternativas	ID	Poder discriminante							
			Média acertos	Média erros	IPD					
Número	Gabarito	A	B	C	D	Efetivo				
17	D	2,20	34,70	12,56	50,48	33,00	M	8,51	5,95	0,45
18	B	7,71	37,25	42,20	12,79	16,00	M	8,50	6,50	0,34



Figura 3 - Tirinha sobre a queda dos corpos segundo Galileu



Figura 4 - Tirinha sobre a situação-problema da Questão 18.

médio de acertos ainda menor. Seu índice de erro (expurgando a probabilidade de resposta ao acaso) pode estar entre cerca de 63% e 84%, dos quais cerca de 55% foram atraídos pela resposta aristotélica, ou seja, a bola cairia atrás do barco. A situação-problema da referida questão é abordada na Fig. 4.

A idéia de que a física deve ser a mesma para observadores que se deslocam uns em relação aos outros, em movimento de translação uniforme, foi defendida por Galileu em seu *Diálogo*. A argumentação começa com as seguintes palavras de Salviati, um dos três personagens do livro:

*Feche-se com um amigo em uma grande sala sob a ponte de um navio e arranje moscas a voar, borboletas e outros pequenos animais; tenha também um grande vaso com água contendo peixes; suspenda um balde cuja água cai gota a gota por um orifício no chão. Com o navio parado, observe cuidadosamente os pequenos animais a voar, os peixes a nadar com a mesma velocidade para todos os lados, as gotas caindo no vaso pousado no chão; e você mesmo lance ao seu amigo um objeto e verifique que o pode fazer com a mesma facilidade em uma e em outra direção, quando as distâncias são iguais e que, saltando a pés juntos, você atravessa espaços iguais em todos os sentidos. Quando tiver observado com cuidado todas essas coisas (embora não se duvide que tudo se passe assim com o navio parado) faça avançar o navio tão velozmente quanto queira, desde que o movimento seja*

*uniforme sem oscilações para um lado e para o outro. Você não descobrirá nenhuma mudança em todos os efeitos precedentes e nenhum deles medirá se o navio está em marcha ou está parado (...), e a razão pela qual todos esses efeitos permanecem iguais é que o movimento é comum ao navio e a tudo que ele contém, incluindo o ar.*

Esse princípio de absoluta equivalência entre dois referenciais que se movem relativamente em translação uniforme, isto é, entre *referenciais inerciais*, concebido em uma época de primazia da mecânica, é a base do princípio da relatividade de Galileu, o qual implica o abandono de qualquer possibilidade de movimento absoluto [2]. Pode-se ainda enunciá-lo da seguinte forma:



Figura 5 - Uma possível leitura do princípio da Relatividade de Galileu.

*Se as leis da mecânica são válidas em um dado referencial, então são igualmente válidas em qualquer outro referencial que se mova em translação uniforme em relação ao primeiro.*

O conteúdo desse princípio é que todo sistema de referência inercial deve ser equivalente para a descrição do movimento; ele pode ainda ser enunciado como sugere a tirinha da Fig. 5.

De volta à situação-problema de onde a bola lançada do topo do mastro vai cair, o aluno que compreendeu o significado do princípio da Relatividade de Galileu, é capaz de dar a resposta correta de forma direta: o resultado físico não se altera quando passamos do repouso ao movimento retilíneo uniforme (equivalência dos referenciais inerciais). Ou seja, se quando o barco (o laboratório) está parado a bola cai ao pé do mastro, na situação análoga, na qual a única diferença é que o laboratório se desloca em movimento retilíneo uniforme em relação à situação anterior, o resultado físico *deve ser o mesmo* e, portanto, a bola *cai no pé do mastro*, exatamente como no caso anterior.

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Departamento de Seleção Acadêmica da UERJ – em particular às professoras Elizabeth Murad e Stella Maris – por ter gentilmente permitido que tivéssemos acesso aos dados estatísticos aqui utilizados.

## Referências

- [1] [www.cbpf.br/eduq](http://www.cbpf.br/eduq), acessado em 14/4/2008.
- [2] Veja, por exemplo, F. Caruso & V. Oguri, *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos* (Elsevier, Rio de Janeiro, 2006).



## Tecnologia para o ensino de eletrodinâmica para o aluno cego



.....

### Marcos Michel de Souza

Instituto de Física de São Carlos,  
Universidade de São Paulo, São Carlos,  
SP, Brasil

E-mail: marcosmichel@ursa.ifsc.  
usp.br

### Maria da Piedade Resende da Costa

Departamento de Educação Especial,  
Universidade Federal de São Carlos,  
São Carlos, SP, Brasil

E-mail: piedade@ufscar.br

### Nelson Studart

Departamento de Física, Universidade  
Federal de São Carlos, São Carlos, SP,  
Brasil

E-mail: studart@df.ufscar.br

.....

O presente artigo relata a realização de um trabalho envolvendo uma tecnologia para o ensino de eletrodinâmica para o aluno cego.

Sem dúvida alguma a eletrodinâmica é de suma importância em nossa vida cotidiana, e seu conhecimento se mostra indispensável para qualquer cidadão que queira estar inserido em nossa sociedade tão cheia de novas tecnologias, que a todo o momento evoluem obrigando o ensino a evoluir também.

Fenômenos e tecnologias envolvendo a eletrodinâmica se mostram presentes em todas as casas das mais variadas classes sociais e contextos culturais. Podemos citar como exemplo os aparelhos eletroeletrônicos, as lâmpadas incandescentes, os televisores, os computadores, os fornos de microondas, e tantos outros mais.

O objeto de estudo da eletrodinâmica são as cargas elétricas em movimento, e é através da eletrodinâmica que podemos explicar o funcionamento dos circuitos e dos componentes elétricos, tais como resistores, capacitores, pilhas e baterias, entre outros [1].

Conceitos e termos da eletrodinâmica fazem parte do senso comum e estão presentes no vocabulário de todos. Quem nunca emendou fios, observou os pólos da bateria, ou não prestou atenção na voltagem de sua residência? É função do professor fazer a transposição desse conhecimento do senso comum para um conhecimento científico.

Mesmo com sua enorme importância no mundo moderno e a relevância do seu conhecimento para a inserção na sociedade atual cheia de tecnologias cada vez mais avançadas, a eletrodinâmica tem seu conteúdo bastante abstrato, o que dificulta o ensino e o aprendizado, em especial, do

aluno cego. Os professores, por sua vez, juntamente com os livros didáticos do ensino médio, têm restringido o acesso desta população escolar a estes conteúdos, já que, quase sempre, em sua apresentação fazem uso de recursos visuais. Muitas vezes ocorre algo ainda mais complicador: os professores estão mais preocupados com os cálculos matemáticos do que com os conceitos físicos envolvidos e sua aplicação na vida cotidiana dos alunos.

Outra situação igualmente agravante que a vivência nos tem mostrado ocorrer

com frequência, não somente com o aluno cego, mas também com o aluno vidente, é o aluno meramente reproduzidor de forma mecânica dos conteúdos. Trata-se de um aluno que somente

**O objeto de estudo da eletrodinâmica são as cargas elétricas em movimento, e é através da eletrodinâmica que podemos explicar o funcionamento dos circuitos e dos componentes elétricos**

reproduz nas avaliações conceitos e fórmulas ditas em aula pelo professor, sem de fato ter entendido esses conteúdos. Acreditamos que, por um lado, o aluno é o menos culpado por esta situação. Por outro lado, o ambiente escolar, em geral, desfavorece o aprendizado com aulas que não priorizam uma educação voltada à vida cotidiana.

Pode ser citado como exemplo o fato de que alunos, ao final do ensino médio, conseguem, quando muito, lembrar-se de cálculos envolvidos na solução de um problema envolvendo um circuito simples com resistência, mas não se lembram de uso de componentes resistivos, como em lâmpadas incandescentes e chuveiros. Aproximar a ciência da vida cotidiana torna a aprendizagem significativa para o aluno e estimula a sua aprendizagem. Uma aula de resistência elétrica torna-se muito mais motivadora se o professor abordar, por exemplo, sua utilização em instrumentos de um salão de beleza, tais como toucas térmicas e "chapinhas" de alisamento

---

A eletrodinâmica é de suma importância para sociedade atual e seu estudo pode ajudar a inserir estudantes cegos nela. O objetivo deste estudo é analisar a eficácia de um material instrucional criado especificamente para o ensino de eletrodinâmica para deficientes visuais. O material foi aplicado em um estudante de ensino médio cego, aluno de uma escola pública. Os fenômenos e conceitos físicos envolvidos foram divididos em três sessões de aprendizagens. O material instrucional produzido mostrou-se eficaz na compreensão dos conceitos básicos bem como das leis de um circuito elétrico simples.

capilar.

A descrição desta situação não atende o que prescreve os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN+ [2]. Isto nos leva a inferir que o professor provavelmente necessite de uma revisão na sua formação [3, 4].

Esta preocupante situação nos levou a pensar neste estudo. Necessitávamos criar um material instrucional capaz de proporcionar o ensino de eletrodinâmica em uma sala de aula inclusiva, ou seja, um mesmo material que desse suporte ao ensino de alunos cegos e alunos videntes. Para isso, julgamos prioritário provar sua eficácia na aprendizagem dos conceitos básicos da eletrodinâmica e sua importância no cotidiano por parte dos alunos que não vêem.

Ao tratar o ensino de física para deficientes visuais, Camargo [5] afirma que: “é preciso criar ou adaptar equipamentos que emitam sons ou possam ser tocados e manipulados. Isto é necessário para que o aluno consiga observar o fenômeno físico a ser estudado. Em segundo lugar, o professor deve evitar o uso de gestos, figuras e fórmulas que somente podem ser vistos. Isso significa que o professor deve usar materiais de apoio em Braille, gráficos em relevo, calculadora falante e, quando preciso, tocar nas mãos dos alunos para apresentar-lhes alguma explicação”.

Iniciamos por fazer algumas considerações e observações sobre a deficiência visual, sobre a escola inclusiva, bem como o ambiente onde se deu o procedimento e também seu público alvo.

## Deficiência visual e ensino de física

Deficientes visuais congênitos, ou seja, os cegos, são pessoas com deficiência visual desde seu nascimento, e com perda total de visão. O MEC definiu no documento *Proposta Curricular para Deficientes Visuais* a cegueira como “ausência total de visão ou acuidade visual não exce-

dente a 6/60 pelos optótipos de Snellen (0,1 [fileiras de letras ou figuras com tamanhos cada vez menores] no melhor olho após a melhor correção óptica e campo visual igual ou menor a 20 graus no maior meridiano do melhor olho” [6, p. 15]. Para Rocha [7], a cegueira, ou simplesmente a amaurose, pressupõe completa perda de visão. A visão é nula, isto é, nem a percepção luminosa está aparente”. Como o procedimento de ensino relatado no presente trabalho foi aplicado em um cego, supomos que se esse fosse capaz de utilizar com

sucesso o material, um deficiente com visão subnormal também poderia fazer uso do mesmo sem maiores dificuldades. É evidente que pequenas adaptações devem ser feitas, como um bom contraste de cor, ao se lidar com alunos com baixa visão.

Outra consideração importante a ser feita é sobre a desvinculação existente entre a cegueira e a capacidade intelectual do indivíduo. Devemos ressaltar o fato de que a inteligência do portador de deficiência visual não é afetada pela perda de visão, salvo os casos raros em que há uma associação genética entre a cegueira e a subnormalidade intelectual (doença de Sach) [8]. Ainda sobre a inteligência do deficiente visual, Telford e Sawrey [8] afirmam que “à medida que a cegueira é geneticamente independente da mentalidade defeituosa ou de uma lesão cerebral, a capacidade intelectual

básica do cego é comparável a de toda população em geral”. A partir desse dado, o que esperar do desempenho acadêmico desses alunos, em particular, na disciplina física? Neves *et al.* [9] mostraram que as concepções alternativas sobre conceitos físicos apresentam padrões de respostas análogos àqueles de pessoas que não sofrem de deficiência visual. Camargo [10] tem desenvolvido pesquisas importantes sobre o ensino de física e a deficiência visual constituindo-se em importante marco no estudo desta área no Brasil.

Acreditamos que a falta de artefatos didáticos (materiais instrucionais facilitadores do aprendizado) e maior

investimento na formação do professor para lidar com alunos deficientes visuais são aspectos relevantes na avaliação do desempenho acadêmico do aluno deficiente visual comparado ao aluno

vidente.

## Contexto no qual o procedimento foi desenvolvido

O local escolhido foi uma escola estadual em um município do interior do estado de São Paulo. A escola mantém uma sala de recursos para deficientes visuais, outrora chamada de “sala especial”. Trata-se de uma sala de aula inclusiva, onde os alunos com deficiência visual assistem às aulas juntamente com os demais alunos, e o professor “tem que saber” lidar tanto com

alunos videntes como com alunos cegos. Muitas vezes não é possível ao professor dedicar uma maior atenção aos deficientes visuais, e a falta de tempo para preparar as aulas faz com que utilize somente a lousa como recurso didático. Nessa escola os alunos com deficiência visual freqüentavam as aulas em uma classe regular no período da manhã. No período da tarde, no entanto, os alunos deficientes visuais freqüentavam a sala de recursos, onde tinham à sua disposição materiais e equipamentos específicos e facilitadores da aprendizagem. A sala conta com máquina de datilografia do

sistema Braille, Soroban (espécie de ábaco usado por orientais para fazer cálculos, construído para o deficiente visual, podendo até mesmo substituir uma calculadora), sistematizador de voz, e lupa eletrônica, entre outros. Frequentemente durante o pe-

ríodo da tarde anotavam o conteúdo abordado na aula no período da manhã e que os alunos videntes haviam copiado diretamente da lousa. A Secretaria Estadual da Educação mantém somente uma pedagogia especializada em deficiência visual na sala de recursos. Não há professores de disciplinas específicas como física, química, português, geografia para atender os deficientes visuais. Para atenuar tal situação a escola contou com o apoio de bolsistas de uma Universidade pública existente no município que, no período da tarde, eram tutores desses alunos na sala de recursos.

Foi nessa sala de recursos que desenvolvemos o presente estudo. Escolhemos essa sala por ser um ambiente propício para o ensino e pela familiaridade do aluno com esse ambiente (o aluno que participou da experimentação freqüentava a referida escola há dez anos, ou seja, desde a primeira série).

Neste trabalho descrevemos um material instrucional de apoio para o ensino dos conceitos básicos de eletrodinâmica para alunos com deficiência visual, assim como a utilização desse material e a avaliação de sua eficácia.

## Material instrucional

Foram desenvolvidos aparatos para uso em três sessões de ensino-aprendizagem na sala de recursos para um aluno cego conforme descrito a seguir.

### (a) Primeira sessão

Simulação da atração e a repulsão entre

**Acreditamos que a falta de aparatos didáticos e maior investimento na formação do professor para lidar com alunos deficientes visuais são as principais variáveis responsáveis para o desempenho acadêmico do aluno deficiente visual não ser igual ao do aluno vidente**

**Devemos afirmar a desvinculação entre a cegueira e a capacidade intelectual do indivíduo; a inteligência do portador de deficiência visual não é afetada pela perda de visão**

as cargas: para a confecção deste material foram utilizadas placas de material emborrachado (EVA), (medindo 0,5 cm de espessura) e esferas de isopor de 3,5 cm de diâmetro. As esferas de isopor foram colocadas no centro de um quadrado feito de EVA medindo 6,5 cm x 6,5 cm. Em outro quadrado de EVA, de mesmas dimensões, um círculo de 3,5 cm foi introduzido no seu centro. Este material serviu para ilustrar a repulsão de cargas iguais e a atração de cargas diferentes através da analogia com as formas geométricas dos objetos. Assim como as cargas, as peças iguais não se encaixavam, enquanto que as peças diferentes se encaixavam perfeitamente (ver Fig. 1).

Representação de um sólido condutor: foram utilizadas 12 esferas de isopor medindo 3,5 cm de diâmetro, e 20 palitos de madeira com 10 cm de comprimento e esferas metálicas de 1 cm de diâmetro. As esferas de isopor foram transpassadas pelos palitos e arranjadas de modo a formar dois cubos compartilhando uma mesma face, ou seja, unidos por um dos lados. Este material serviu para mostrar a rede cristalina de um sólido condutor onde os elétrons livres eram representados pelas esferas metálicas que eram seguradas pelo aluno deficiente visual enquanto este mantinha as mãos dentro do cubo.

### (b) Segunda sessão

Ilustração para o ensino dos conceitos de corrente elétrica, potencial elétrico e resistência: na confecção do material foram utilizadas placas de material emborrachado (EVA), (medindo 0,5 cm de espessura), esferas metálicas de 0,5 cm de diâmetro, e pedaços de feltro de 3 cm x 5 cm (valores aproximados). Foram cortadas duas placas de EVA medindo 13 cm x 29,5 cm. Numa delas foi feita uma canaleta de 1 cm de largura na forma de um retângulo com os cantos arredondados deixando 3 cm de margem. Em um dos lados maiores do retângulo formado pela "canaleta" foi



Figura 1 - Material utilizado para imitar a atração e a repulsão entre as cargas e para representar símbolos de circuitos reais com fio, resistência e bateria.

colado um pedaço de feltro e no outro lado maior foram construídas duas barreiras, isto é, saliências de alturas diferentes (3,5 e 5 cm respectivamente) feitas também de EVA. Entre as duas saliências foi colocado um pedaço de feltro de aproximadamente 3 cm x 2 cm. Sobre esta canaleta foram colocadas as esferas metálicas. Essas esferas identificam, para o aluno cego, os elétrons livres de um condutor e a canaleta representa o fio condutor. A resistência elétrica é simbolizada pelo pedaço de feltro que alegoricamente dificulta a passagem dos elétrons. A dupla barreira representa a diferença de potencial produzida pela bateria, sendo que uma saliência simboliza o cátodo e a outra, o ânodo. O pedaço de feltro entre as saliências representa a resistência interna da bateria (ver Fig. 2).

Representação gráfica do vidente para um circuito elétrico: um retângulo de papelão (medindo 32 cm x 20 cm), barbante e palitos. O barbante foi colado no papelão de modo a ficar idêntico ao retângulo formado pela canaleta do material citado acima. Os palitos foram dispostos no local correspondente à bateria e à resistência e arranjados de modo a ficar idênticos aos símbolos gráficos que representam a bateria e a resistência. Esta parte foi essencial para a aprendizagem, pois o aluno cego pôde entrar em contato com os símbolos utilizados pelos videntes graças ao alto relevo produzido pelo barbante e pelos palitos (ver topo da Fig. 1).

### (c) Terceira sessão

Ilustração de resistências em série e em paralelo: foram utilizadas novamente placas de material emborrachado (EVA). Foi feito o mesmo sistema de "canaletas" utilizado anteriormente, desta vez em uma placa com 30 cm x 30 cm, utilizando o mesmo material que representava a bateria e colando pedaços de feltro para representar duas resistências em série e duas resistências em paralelo (ver Figs. 3 e 4). Através deste material foi explicado o que ocorre com a intensidade da corrente e a voltagem em



Figura 2 - Material utilizado para ensinar os conceitos de corrente elétrica, potencial elétrico e resistências em série e em paralelo.

um circuito com resistências em série e em paralelo.

Experimentos reais com alunos cegos: material composto de uma placa de madeira (medindo 30 cm x 30 cm), duas resistências de 970  $\Omega$  e 100  $\Omega$ , um suporte para quatro pilhas do tipo AA, conectores, e duas chaves simples, e um alarme sonoro que variava a intensidade do som de acordo com a voltagem por ele sentida (ver Fig. 5).

Pode-se notar pela descrição do material usado que houve sempre uma grande preocupação em se desenvolver um material de baixo custo e fácil confecção para que qualquer professor pudesse



Figura 3 - Material utilizado para ensinar conceitos de resistência em série e em paralelo.



Figura 4 - Material utilizado para ensinar os conceitos de corrente elétrica, potencial elétrico e resistências em série e em paralelo.

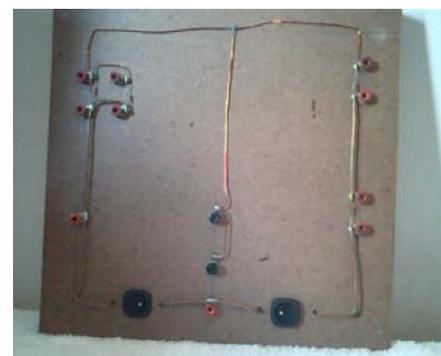


Figura 5 - Material instrucional utilizado para realizar experimentos reais com alunos cegos.

reproduzi-los sem maiores dificuldades. Optamos por materiais alternativos como materiais emborrachados tipo EVA, esferas metálicas (popularmente conhecidas como “bolinhas de rolimã”), fio condutor de cobre, isopor, pilhas, pedaços de feltro, etc. O objetivo foi sempre encontrar materiais com nuances de texturas atrativas ao aluno cego com o menor custo possível. O feltro, isopor e as placas de EVA se mostraram muito eficazes. Materiais como madeira se mostraram de difícil manejo e custo um pouco mais elevado.

### Procedimento

**Participante:** um aluno do ensino médio com perda total ou congênita da visão.

**Local:** o experimento foi realizado na sala de recursos para deficientes visuais de uma escola estadual de um município do interior do estado de São Paulo.

**Situação:** o experimento educacional teve a relação de um para um, o experimentador e participante, ou seja, professor/aluno.

O tema Eletrodinâmica foi discutido em três sessões de ensino-aprendizagem. Na primeira, o conceito de carga e os efeitos de atração e repulsão entre elas foram introduzidos. Na segunda, os temas abordados foram as cargas elétricas em movimento (corrente elétrica), resistência, e potencial elétrico com simulação de experiências de eletricidade. Na terceira sessão, foi realizada a parte prática, onde o aluno cego entrou em contato com um experimento real de eletricidade através do circuito montado com sinais sonoros que variavam a intensidade do som de acordo com a voltagem. Foi nesta sessão de aprendizagem que se verificou se houve aquisição por parte do aluno dos conceitos explicados.

#### a) Primeira sessão

Nesta sessão foram discutidos os conceitos de carga elétrica através de duas peças com diferentes encaixes. As peças só se encaixavam quando possuíam diferentes formas. Através dessa analogia foi explicado que cargas de mesmo sinal são repelidas (peças de mesma forma não

se encaixam) e cargas de sinais diferentes são atraídas (peças de formas diferentes se encaixam perfeitamente). Nessa sessão também foi abordado o conceito de condutor e isolante, utilizando-se um cubo feito de varetas com pequenas esferas de isopor em cada um dos vértices, que representavam a estrutura atômica. Pequenas esferas de metal eram introduzidas no cubo com as mãos para simbolizar os elétrons livres, característica básica de um material condutor.

#### b) Segunda sessão

Foi aplicado o material representativo do movimento das cargas em um circuito elétrico. O fio condutor foi representado por uma espécie de canaleta construída na placa de EVA. Os elétrons eram simbolizados por pequenas bolinhas de metal deslocando-se nas canaletas; a resistência, por um pedaço de feltro colado na canaleta que dificultava a passagem dos elétrons; a bateria, uma dupla barreira (saliências com alturas diferentes) usando a analogia com o potencial gravitacional. Nesta metáfora, a corrente foi definida como o número de bolinhas que passam em um determinado ponto do fio em um dado tempo. Nesta sessão de aprendizagem foram mostrados, através de barbaletes e varetas coladas em um pedaço de cartolina, os sinais gráficos que os videntes usam para representar a resistência e a bateria num circuito.

Por último nesta sessão foi feito um modelo em EVA do circuito real que o aluno conheceria em seguida. O modelo era do mesmo tamanho e tinha a mesma disposição das resistências que o circuito real.

#### c) Terceira sessão

Nesta sessão de aprendizagem o aluno foi capaz de verificar experimentalmente os conceitos anteriormente discutidos. O circuito simbólico de EVA, utilizado na segunda sessão, foi revisitado. Uma vez que o aluno cego já havia dominado os principais conceitos da eletrodinâmica ele

verificou experimentalmente esses conceitos em um circuito exatamente igual, (até mesmo no tamanho) ao material instrucional. O circuito foi construído na tábua de madeira colocando-se resistências em série e em paralelo. Foram colocados conectores entre as resistências para que o aluno pudesse medir a voltagem usando um alarme sonoro (substituto do multímetro, já que se trabalhou com um cego). Foram colocadas duas chaves de modo a fechar o circuito com as resistências ligadas apenas em série, apenas em paralelo, ou com ambas conectadas. O aluno cego pôde verificar com absoluto sucesso que a voltagem era a mesma quando as resistências eram ligadas em paralelo e as voltagens eram diferentes quando colocadas em série. O aluno conseguiu realizar o experimento com grande perspicácia.

### Considerações finais

O material instrucional produzido proporcionou ao aluno maior envolvimento, motivação e interesse pelo assunto abordado nas sessões de aprendizagem. Esse interesse foi evidenciado pelo número

de perguntas e o tempo despendido pelo aluno manuseando os artefatos mesmo após o término da sessão. Uma avaliação mais bem fundamentada do uso da tecnologia educacional proposta neste trabalho requer

mais pesquisas no ensino de física para deficientes visuais. No presente caso, foi possível verificar que o aluno cego adquiriu os conceitos básicos da eletrodinâmica discutidos no ensino médio, sem que a ausência de visão se tornasse um empecilho à aprendizagem. Podemos concluir, ao final desta experiência educacional, que os artefatos produzidos mostraram-se eficazes na compreensão dos conceitos básicos bem como das leis de um circuito elétrico simples.

Marcos M. de Sousa é bolsista do CNPq.

**Comprovou-se ao final deste experimento educacional como o aluno cego pôde aprender conteúdos básicos de eletrodinâmica ensinados no ensino médio sem que a ausência de visão se tornasse um empecilho à aprendizagem**

### Referências

- [1] GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, *Física 3 – Eletromagnetismo* (EDUSP, São Paulo, 1991).
- [2] Brasil, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemáticas e suas Tecnologias* (MEC/SEMTEC, Brasília, 2002).
- [3] Marina da Graça Nicoletti Mizukami,

*Ensino: As Abordagens do Processo* (EPU, São Paulo, 1986).

- [4] B. Charlot, *Relação com o Saber, Formação dos Professores e Globalização* (Artmed, Porto Alegre, 2005).
- [5] Eder Pires de Camargo, *Física na Escola* **8** (1), 30 (2007).
- [6] Brasil, *Proposta Curricular para o Deficiente Visual – 1ª Série* (CENESP-PREMEN, Brasília, 1979), v. 1
- [7] H. Rocha, *Ensaio Sobre a Problemática da Cegueira: Prevenção – Recuperação Reabilitação* (Fundação Hilton Rocha, Belo

Horizonte, 1987).

- [8] C. Telford e J.M. Sawrey, *O Indivíduo Excepcional* (Jorge Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1974).
- [9] M.C.D. Neves, L.G. Costa, J. Casicava e A. Campos, *Revista Benjamin Constant*, **6**, 14 (2000).
- [10] Eder Pires de Camargo, *Ensino de Física e Deficiência Visual*, (Editora Plêiade, São Paulo, 2008). Uma lista de seus trabalhos encontra-se em [www.dfq.feis.unesp.br/dvfisica](http://www.dfq.feis.unesp.br/dvfisica) (acesso em setembro de 2008).



## Ondas de água: uma revisão ao nível médio

.....  
**Almir Guedes dos Santos**

Colégio Estadual Marechal Zenóbio da  
Costa, Nilópolis, RJ, Brasil

.....  
**Fernando de Souza Barros**

Instituto de Física, Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Rio de  
Janeiro, RJ, Brasil

.....  
**E**m uma abordagem elementar desse tema, a dificuldade principal é demonstrar a dependência da velocidade da onda com a espessura (ou perfil) do meio líquido. A descrição das propriedades de transporte de ondas de água quando seu comprimento de onda é comparável à espessura da lâmina de água,  $H$ , é normalmente iniciada a partir da expressão da velocidade de grupo  $v_g$ , denominada na literatura como “velocidade de uma onda gravitacional”

$$v_g = \sqrt{gH}. \quad (1)$$

A Eq. (1) requer atenção especial porque não é consequência direta de princípios simples ou intuitivos, e até sua denominação escapa a compreensão dos “não iniciados”. Entretanto, essa expressão é necessária porque é a chave para a explicação de fenômenos aparentemente bem diferentes. Por exemplo, a alta velocidade de uma onda tsunami em pleno mar ( $\approx 700$  km/h), ou a elevação dessas ondas quando elas atingem o litoral ( $\approx 30$  m!). Os principais objetivos da presente revisão são: (1) a caracterização do movimento local no interior do corpo de uma onda de água (ao nível quase-molecular); e (2) o efeito do perfil da lâmina de água sobre as propriedades de transporte das ondas.

Existe uma literatura abrangente e abundante sobre ondas de água, particularmente sobre o fenômeno das ondas tsunamis provocadas por terremotos submarinos. Na grande maioria são textos escritos em língua inglesa e que visam um público com conhecimentos de álgebra vetorial e mecânica dos fluidos. Um exemplo é o terceiro volume sobre ondas da série de física geral de Berkeley. Tratados de mecânica dos fluidos como, por exem-

plo, o texto de Granger [1] detalha as propriedades das ondas de água. O fenômeno das ondas tsunami foi descrito por autores brasileiros: Silveira e Varriale [2] examinaram o tsunami no contexto da propagação de ondas marítimas, e Helene e Yamashita [3] exploram um modelo numérico para descrever o comportamento da onda tsunami em função do perfil do fundo do mar. Entre os autores estrangeiros, o artigo de Margaritondo [4] foi concebido para um público não especializado com nível superior. Uma abordagem de ondas de água adaptável ao ensino médio é encontrada nos artigos de Behroozi e Podolefski [5, 6] e Behroozi [7].

Os fenômenos dramáticos da natureza relacionados com a água, como enchentes, avalanches e ondas gigantes, são temas fascinantes para aulas de ciências ao nível médio, com vistas ao ensino de conceitos elementares dos fluidos. As dificuldades para compreensão de um dos

**Os fenômenos dramáticos da natureza relacionados com a água, como enchentes, avalanches e ondas gigantes, são temas fascinantes para aulas de ciências ao nível médio, com vistas ao ensino de conceitos elementares dos fluidos**

fenômenos mais corriqueiros desse tópico, o movimento das ondas de água, reforçam a necessidade que a introdução desses conceitos ao nível elementar receba atenção especial. Entretanto, as conhecidas de-

monstrações de ondas de água em cubas ou aquários não revelam as propriedades dos movimentos internos no corpo da onda e têm diminuto impacto pedagógico, como já observou Richard Feynman nas suas recordações sobre as aulas de física da sua escola.<sup>1</sup>

### **Caracterização das ondas de água<sup>2</sup>**

O roteiro para apresentação das propriedades das ondas de água em uma sala de aula é uma lista complexa:

.....  

---

A presente revisão é motivada pela carência de textos sobre as propriedades de ondas de água em física elementar. São abordados os tratamentos existentes na literatura para a descrição das propriedades básicas de ondas de água, dando-se preferência aos modelos simplificados do fenômeno da onda. A discussão sobre as propriedades das ondas é um complemento essencial para o aluno do ensino médio e quase um imperativo para o fomento de ações de preservação ecológica do nosso litoral. Torna-se assim necessário antecipar a demanda desse material educacional nas escolas brasileiras

(1) Ondas deslocando-se em águas ditas superficiais (espessura pequena da lâmina de água quando comparado com o comprimento de onda) têm uma característica “não trivial”: sua velocidade de propagação não depende do comprimento de onda.

(2) Quando a espessura da lâmina de água é bem maior do que o comprimento da onda líquida (águas profundas), as ondas têm amplitudes que dependem da direção: no limite de pequenas oscilações, a amplitude tem um comportamento harmônico na direção horizontal mas decresce exponencialmente com a profundidade.

(3) Em uma onda estacionária os movimentos locais das gotículas de água no interior do meio acompanham o movimento do perfil da onda, mas quando a onda se desloca, as gotículas de água superficiais descrevem círculos que se transformam em elipses no interior do meio aquoso.

### Ondas de água gravitacionais

A ação das forças restauradoras depende criticamente da amplitude das ondas de água. Quando a amplitude das ondas está acima da escala de centímetros, predomina a força da gravidade e as ondas são denominadas gravitacionais. Nas ondas com amplitudes na escala de milímetros predomina a força da viscosidade e as ondas são denominadas capilares. Um tratamento simples de ondas de água requer várias simplificações: não se considera a tensão superficial da água, o que implica que a única força restauradora que atua na onda é a da gravidade. Embora a atuação da gravidade requeira ondas de amplitude na escala

**Ondas deslocando-se em águas ditas superficiais (espessura pequena da lâmina de água quando comparado com o comprimento de onda) têm uma característica “não trivial”: sua velocidade de propagação não depende do comprimento de onda**

acima de poucos centímetros, o regime considerado é de pequenas oscilações (a inexistência de bolhas de ar e de redemoinhos ou vórtices).

A maioria dos textos de física aborda a situação mais simples de uma onda sobre uma lâmina de água confinada, como mostra a Fig. 1 o perfil de uma onda líquida estacionária dentro de uma cuba. No estado de equilíbrio, o nível da água é a linha horizontal tracejada (eixo  $x$ ). Na presença de uma onda, o líquido move-se periodicamente na direção vertical ao longo das paredes da cuba ( $x = \pm L/2$ ). Nessas fronteiras, a limitação do movimento na direção  $x$  sugere que o máximo da amplitude  $\Psi_x$  corresponde ao nodo de  $\Psi_y$ .

Selecionando-se a opção de  $\cos(kx)$

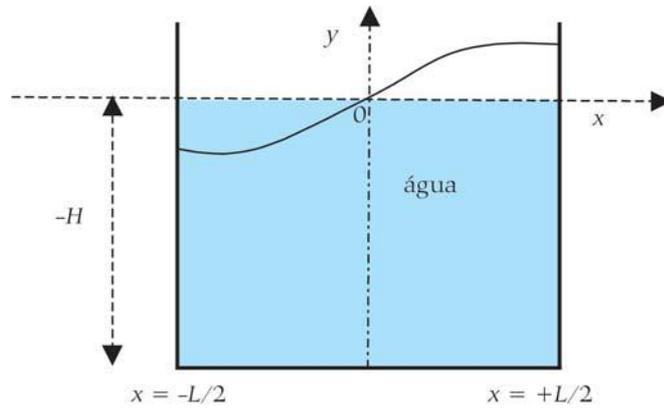


Figura 1 - Uma onda líquida com pequenas oscilações. Os dois graus de liberdade dos movimentos da onda nas direções principais estão em fase, mas as dependências temporais das suas componentes  $\Psi_x(x, y, t)$  e  $\Psi_y(x, y, t)$  são representáveis pela mesma função harmônica: no caso presente,  $\cos(\omega t)$ .

para  $\Psi_x$  implica em  $\sin(kx)$  para  $\Psi_y$ . O fator comum às duas amplitudes  $\cos(\omega t)$  modula o comportamento temporal dessas duas amplitudes (dois graus de liberdade em fase)

$$\Psi_y(x, y, t) = \cos(\omega t) \sin(kx). \quad (2)$$

$$\Psi_x(x, y, t) = \cos(\omega t) \cos(kx). \quad (3)$$

Uma introdução da onda gravitacional deve considerar seu comportamento no interior da lâmina de água. O efeito de profundidade permite uma análise informal porque suas conseqüências são intuitivas. É evidente que na base da cuba não

existe oscilações; a amplitude  $\Psi_y(x, y, t)$  deve ser nula para  $y = -H$ . Em uma análise formal para  $\lambda \approx H$ , demonstra-se que existe uma atenuação exponencial da amplitude da onda em função da profundidade.

Alguns autores [5] argumentam que a hipótese de uma atenuação linear com a profundidade seja discutida em classe. Pode-se argüir que a atenuação seja exponencial, uma conseqüência do efeito cumulativo das camadas de líquido sobre a onda. Essas conside-

rações levam ao próximo ponto da presente análise. Como introduzir o conceito do movimento local das gotículas de água de uma onda?

### Movimento local de gotículas no corpo de uma onda de água

A proposta mais simples seria que no interior do líquido a gotícula poderia se deslocar em qualquer direção, como no movimento browniano. Mas é intuitiva a previsão de movimentos solidários (coletivos) dessas gotículas. O próximo passo seria compatibilizar esses movimentos coletivos locais com a forma da onda gravitacional observada na cuba. Para isso, pode-se argüir que o perfil da onda superficial requereria trajetórias tangenciais das gotículas. A forma do perfil da onda seria compatível com movimentos circulares tangenciais das gotículas, logo abaixo da superfície. Seria útil a utilização de figuras sugestivas encontradas na internet (Fig. 2).<sup>3</sup>

O conceito de movimento local das gotículas de água é utilizado por vários autores [6, 7] no diagrama da Fig. 3 para montagem do perfil de uma onda gravitacional que se desloca na direção positiva do eixo  $x$  (uma onda gravitacional no sentido oposto teria movimentos locais de gotículas no sentido anti-horário).

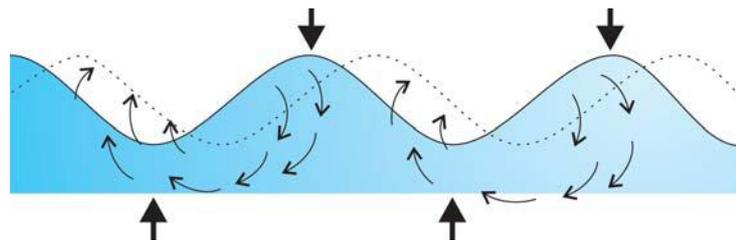


Figura 2 - O deslocamento horizontal  $\Delta x$  ao longo da extensão frontal  $L$  de uma onda líquida. Em  $\Delta x$ , a seção da onda cresce de uma quantidade  $L \Delta y$ .

As propriedades de transporte são formalmente determinadas através das relações de dispersão que expressam as dependências dos parâmetros do perfil das ondas (amplitude e comprimento de onda) com sua frequência angular  $\omega$ . Essas relações dependem das forças restauradoras (a força gravitacional). Para pequenas oscilações, a força restauradora por unidade de comprimento e unidade de massa é proporcional a  $\omega^2$ , um resultado geral para ondas harmônicas.

Na Tabela 1, retirada do texto sobre ondas da série de Berkeley, estão relacionadas às relações de dispersões e velocidades da onda de água nos limites identificados. Como mostra a tabela, as ondas em águas profundas são dispersivas (depende do comprimento de  $\lambda$ ), enquanto em águas rasas não existe dispersão.

Pelas estruturas das expressões da Tabela 1 é razoável prever que suas demonstrações não seriam compatíveis com os conhecimentos de alunos do nível médio. Entretanto, como sugerido na introdução, a expressão da velocidade da onda em águas rasas é de especial importância para caracterizar o comportamento de transporte das ondas em função do perfil da lâmina de água, e merece uma discussão em sala de aula. Exemplificam-se a seguir as propostas de alguns autores da derivação desta equação a partir de conceitos básicos de física e de cálculo.

Como comentado acima, Behroozi e Podolefsky [5, 6] demonstraram a expressão da velocidade da onda em águas rasas no limite de pequenas amplitudes,  $A k \ll 1$ , onde  $A$  é a amplitude da onda e  $k$  seu número de onda, para derivar a expressão da velocidade da onda. Essa demonstração utiliza funções trigonométricas e utiliza um esquema para montagem de uma onda gravitacional progressiva (ver Fig. 3) didaticamente relevante para um enfoque elementar do fenômeno. A demonstração de Margaritondo [4] utiliza o intercâmbio entre energia potencial e cinética de uma onda gravitacional progressiva para demonstrar a dependência de velocidade da onda com o perfil da lâmina de água. Entretanto, o formalismo utilizado de funções harmônicas novamente a desaconselha em uma primeira apresentação do tema.

Tabela 1 - Relações de dispersão nos limites de águas profundas ( $H \gg \lambda$ ) e de águas rasas ( $H$  pequeno). A tabela também relaciona as expressões das velocidades da onda nos dois regimes.

Lâmina	Relação de dispersão	Velocidade (m/s)
Águas profundas	$\omega^2 = 6,6 \lambda^{-1}$	$v_g = 7,85 \lambda^{-1/2}$
Águas rasas	$\omega^2 = 387 H \lambda^{-2}$	$v_g = 3,13 H^{1/2}$

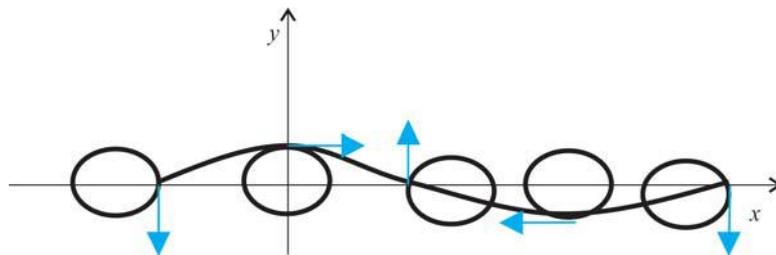


Figura 3 - Ilustração utilizada por Margaritondo [4] para demonstrar a dependência da velocidade de uma onda gravitacional com o perfil da lâmina de água, no limite de águas rasas ( $H \approx \lambda$ ).

Uma possível adaptação da demonstração de Margaritondo é sugerida a seguir. No esquema da Fig. 4, o perfil da onda é representado na forma de um telhado formado por semi-cilindros de raio de curvatura  $R$ . Repetindo o argumento de Margaritondo com esses perfis cilíndricos, obtêm-se a expressão abaixo, numericamente incorreta mas com a dependência funcional desejada

$$v_g = \sqrt{2gR}. \quad (4)$$

O último conceito necessário para uma introdução de ondas de água, com densidade  $\rho$ , é a dependência da energia transportada com o quadrado da amplitude da onda,  $A$

$$E = \frac{1}{8} \rho g A^2. \quad (5)$$

Uma verificação por análise dimensional seria um bom ponto de partida. Poder-se-ia lembrado que a energia eletrostática de um capacitor carregado é proporcional ao quadrado do campo elétrico no seu interior.

### Conclusões

A presente revisão foi motivada pela carência de textos apropriados sobre as

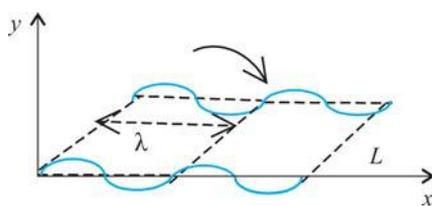


Figura 4 - Esquema simplificado de ondas com perfil semi-cilíndrico.

propriedades de ondas de água em física elementar. Trata-se de uma surpreendente omissão de um fenômeno tão corriqueiro em qualquer extensão natural de águas (lagos, rios e costas marítimas). A beleza das ondas de água, principalmente das ondas do mar, é exaustivamente explorada em desenhos, fotografias, em contradição à carência de textos ou artigos que abordem o tema utilizando conceitos elementares de física. Existem boas razões para a impopularidade desse tema. Como tentamos mostrar, o movimento local do fluido no interior das ondas não é intuitivo e sua visualização através de experimentos simples é um desafio especial.

### Notas

<sup>1</sup>Feynman descreve no texto *The Character of Physical Law* (Editora MIT, Cambridge, 1965), chap 6, as tentativas infrutíferas do seu professor no 2º grau ao tentar utilizar um tanque de ondas, inundando a mesa e transformando a aula em um "show aquático"!

<sup>2</sup>A conceituação básica de ondas de água apresentada nessa seção acompanha o roteiro do texto sobre "Ondas" do curso de física de Berkeley.

<sup>3</sup>HTTP://kingfish.coastal.edu/biolgy/sgilman/770Oceansinmotion.htm.

### Referências

- [1] Robert Granger, *Fluid Mechanics* (Dover, Nova York, 1985).
- [2] F.L. Silveira e M.C. Varriale, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, 190 (2005).
- [3] O. Helene. e M.T. Yamashita, *European Journal of Physics* **27**, 855 (2006).
- [4] G. Margaritondo, *European Journal of Physics* **26**, 401 (2005).
- [5] F. Behroozi e N. Podolefsky, *European Journal of Physics* **22**, 225 (2001).
- [6] F. Behroozi e N. Podolefsky, *European Journal of Physics* **22**, 587 (2001).
- [7] F.Behroozi, *European Journal of Physics* **25**, 115 (2004).



## Superfreio magnético com ímã de disco rígido

Ação da força magnética sobre cargas elétricas em movimentos pode ser observada em diversos experimentos didáticos, entre eles no freio magnético. O freio magnético é largamente usado na indústria e, mais recentemente, até mesmo nas carretilhas de pesca, com regulagem magnética, conforme o peso da isca de pesca, para se evitar a formação da irritante “cabeleira”, ou seja, o desenrolar da linha junto à carretilha após a isca ter chegado ao seu alvo, devido à inércia da rotação do miolo da carretilha.

O freio magnético é um experimento relativamente

comum em instituições de ensino que possuem laboratórios didáticos de física, porém, geralmente, usando eletroímãs para gerar o campo magnético usado no amortecimento de alguma chapa de alumínio em oscilação dentro do campo magnético. O custo deste experimento, contudo, não o torna acessível às escolas públicas brasileiras. Canalle e Moura [1] propuseram um experimento muito simples, de fácil construção e de baixíssimo custo para demonstrar a ação do freio magnético sobre pequenos discos, retângulos ou “pentes” de alumínio em oscilação dentro de um campo magnético, mas usando ímãs de alto-falante. Neste trabalho apresentamos como construir um simples experimento para demonstrar de forma qualitativa, mas extremamente impressionante, a ação das correntes de Foucault,<sup>1</sup> ou como também são chamadas: correntes parasitas ou correntes de rodamosinhos. Neste experimento usamos, pela primeira vez, os ímãs de sucatas de discos rígidos de computadores. Não vamos aqui discutir a origem das chamadas correntes de Foucault, pois isto está

**O alto custo de um eletroímã, normalmente usado no experimento, torna a experiência pouco acessível às escolas públicas brasileiras. Contudo, pode-se utilizar ímãs de sucatas de discos rígidos, de custo praticamente zero**

feito em qualquer livro de eletromagnetismo.

Desenvolveu-se uma montagem na qual coloca-se um disco circular de alumínio (obtido a partir de uma simples forma de pizza) em rotação pela força peso de um objeto suspenso por um fio enrolado no eixo de rotação do disco, do qual pode-se aproximar ou afastar facilmente um par de intensos ímãs permanentes

obtidos de sucatas de discos rígidos de computadores. Quando os ímãs se aproximam do disco em movimento circular uniformemente acelerado e com alta velocidade, ele passa, quase que instantaneamente, para um movimento circular e uniforme de baixíssima velocidade. Afastando os ímãs, o disco volta ao movimento circular e uniformemente acelerado. O processo pode ser repetido ao longo da queda do objeto suspenso. Assim, com esse dispositivo pode-se substituir os eletroímãs (que não são de baixo custo) pelos já largamente disponíveis ímãs de sucatas de discos rígidos (de custo zero) para ilustrar de forma muito mais impressionante do que se obtinha até então, a ação das chamadas correntes de Foucault.

### Preparação das peças e lista de material

Neste experimento utilizamos os materiais a seguir especificados, mas nada impede que substituições sejam feitas. a) Um pedaço de madeira (que chamaremos de torre) com 18 x 7 x 5 cm (Fig. 1); b) uma base de madeira (pode ser de aglomerado ou compensado) com 23 x 23 x 1,5 cm; c) um eixo dianteiro completo de bicicleta aro 14 (Fig. 2); d) uma ripa de madeira com 40 x 4 x 1 cm, que será recortada em pedaços menores (Figs. 3a, 3b,

.....  
**João Batista Garcia Canalle**  
Instituto de Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
E-mail: canalle@uerj.br

.....  
**José Nunes da Silva Neto**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
E-mail: nunes\_rj@uol.com.br  
.....

Neste trabalho apresentamos a construção de um poderoso freio magnético usando o ímã da sucata do disco rígido de computador. O disco a ser freado é obtido a partir de uma forma de pizza de alumínio. A construção é simples, de baixo custo, resistente ao manuseio e o freio é muito mais poderoso do que tradicionais versões comerciais que usam eletroímãs.

3c, 4 e 5); e) dois ímãs de sucata de disco rígido de computador (dentro de cada disco rígido existe um par de ímãs extremamente intensos) (Figs. 3a, 3b e 4); f) uma roldana de plástico usado em varais de teto (Fig. 5); g) um disco de alumínio com diâmetro de 20 cm, obtido a partir de uma forma de pizza (Fig. 6); h) 1,5 m de linha de náilon (n. 0,5) ou similar (Fig. 6); i) quatro parafusos para madeira com 5 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro (para fixar a torre na base e a alavanca na torre) (Figs. 2 e 4); j) uma arruela de 3 cm de diâmetro externo e o diâmetro interno de acordo com o diâmetro do eixo da roda de bicicleta utilizada (Fig. 1); k) uma garrafa PET de 2 ou 2,5 litros cheia de água (ou areia) que será o peso que colocará o disco em rotação (Fig. 6); l) preguinhos (Figs. 4 e 5); m) um tubo de cola Araldite (Figs. 3a, 3b, 4 e 5); e n) furadeira, brocas, tesoura para chapa metálica, lixa para ferro ou lima e martelo.

### Disco de alumínio

Da forma de pizza acima mencionada recortamos a "aba" dela com uma tesoura de cortar chapa metálica (também pode-se pedir para um torneiro mecânico fazer este recorte, ou então, com um martelo, pode-se amassar a aba para dentro da própria forma). Após o recorte com a tesoura é fundamental usar uma lixa para ferro para retirar rebarbas. Com uma broca de mesmo diâmetro do eixo da roda de bicicleta, furamos o centro do disco.

### Torre de madeira

Obtida a "torre" de madeira com as dimensões descritas na lista de material, fizemos os furos indicados na Fig. 1, ou seja, um furo passante para fixação do

eixo da roda dianteira de bicicleta e outro para fixação da alavanca que será descrita a seguir. Feitos os furos, fixamos o eixo da roda de bicicleta, já previamente lubrificado.

### Fixação da torre sobre a base

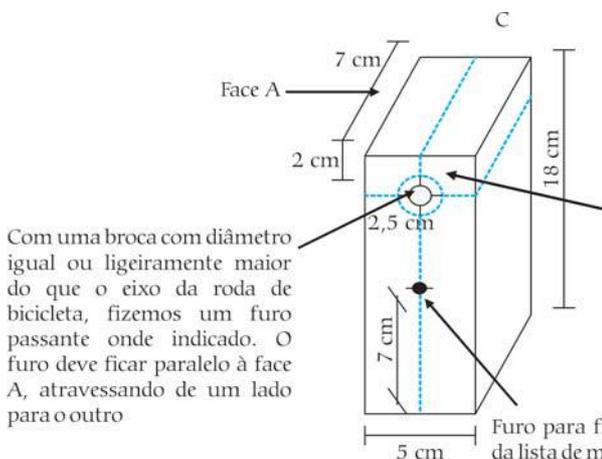
A torre de madeira, já tendo sido perfurada e afixado nela o eixo da roda de bicicleta, deve ser parafusada sobre a base de madeira. Para tanto, fixamos a torre através de 4 parafusos que atravessam a base por baixo dela e prendem a torre firmemente sobre ela, conforme ilustra esquematicamente a Fig. 2.

### Alavanca do freio

Utilizando a ripa de madeira descrita no item "d" da lista de material, recorte-a conforme descrito esquematicamente nas Figs. 3a, 3b e 3c, para juntá-las conforme descrito na Fig. 4, a qual será a alavanca do freio. As Figs. 3a e 3b mostram os ímãs de disco rígido de computador colados na parte central de cada pedaço de madeira. O formato dos ímãs varia conforme o modelo ou fabricante do disco rígido. As peças A e A' e B e B' denotam os pares de ímãs de um mesmo disco rígido. Os ímãs A e A' possuem polaridades opostas, assim como B e B'.

### Polia para correr o fio de náilon

Ainda da ripa descrita no item "d", da lista de material, corte um pedaço de madeira como indicado na Fig. 5. Desmonte a roldana de varal de teto, pois usamos somente a roldana. Passe um prego pelo orifício central da roldana para que ele funcione como seu eixo. Cole firmemente o prego na madeira com Araldite (ou fure a madeira e introduza o prego), conforme ilustra a Fig. 5.



Após fazer este furo passante, com uma broca do diâmetro do rolamento do eixo (ou caixa de bolas do eixo), alargamos a "boca" do furo passante até conseguir a profundidade necessária para encaixar firmemente a caixa de bolas. Fizemos isso no dois lados.

Figura 1. Esquema da "torre de madeira" com a posição dos furos.

### Montando o experimento

Sobre a base já com a torre fixada sobre ela (Fig. 2), parafuse a alavanca (Fig. 4) no local indicado na Fig. 1. A alavanca não pode ser presa rigidamente na torre, pois vamos precisar girá-la para aproximá-la e afastá-la do disco de alumínio sempre que desejarmos frear ou liberar o disco. A seguir fixe o disco de alumínio no eixo da roda de bicicleta. Em

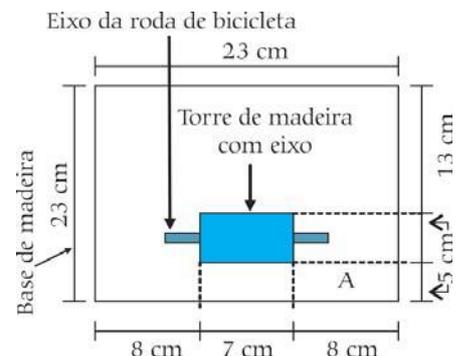


Figura 2 - Vista superior da base de madeira com a "torre" fixada na base e o eixo da roda de bicicleta preso na torre.

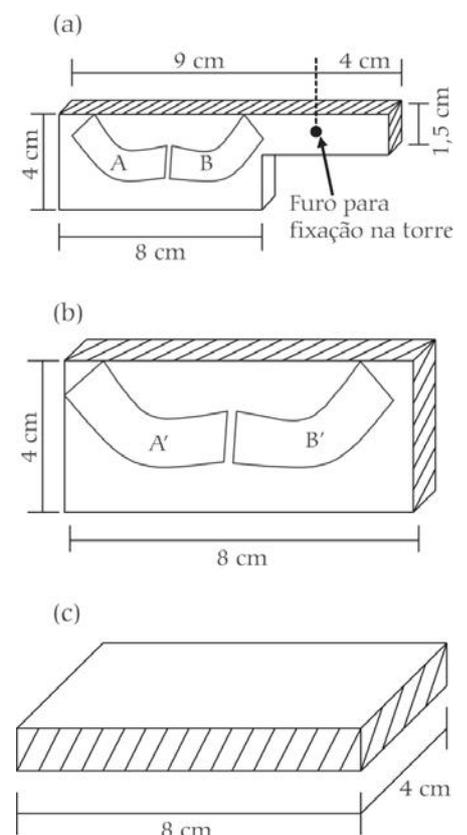


Figura 3 - (a) Peça de madeira após cortada e com os ímãs colados e centralizados na madeira. (b) Retângulo de madeira de 4 x 8 x 1 cm com os ímãs fixados com araldite. (c) Retângulo de madeira de 4 x 8 x 1 cm que será a base da alavanca.

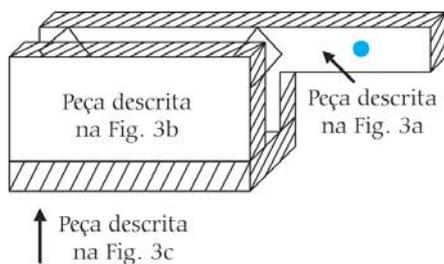


Figura 4 - Alavanca do freio formada com a junção das peças descritas nas Figs. 3a e 3b fixadas sobre a peça descrita na Fig. 3c, com os ímãs uns voltados para os outros, isto é, A e B de frente para A' e B', respectivamente.

cada lado do eixo existem duas porcas, as quais devem ser usadas para fixar o eixo na torre. Coloque o disco na ponta do eixo que está do mesmo lado da alavanca, e para prendê-la, coloque outra porca, não esquecendo de aproveitar para prender junto uma das pontas do fio de náilon. A posição do disco no eixo deve ser ajustada de forma que ele possa girar passando sua borda externa por dentro da alavanca do freio, ou seja, entre os ímãs.

Fixe com pregos a peça descrita na Fig. 5 sobre a base ilustrada na Fig. 2, de modo que a roldana e o disco fiquem em um mesmo plano, conforme ilustra o esquema da montagem final na Fig. 6.

Encha a garrafa PET com água (ou areia ou qualquer outra substância de alta densidade) e amarre um arame em seu gargalo de forma que se possa pendurá-la na extremidade livre da linha de náilon. No esquema da montagem completa, mostrado na Fig. 6, substituímos o dese-

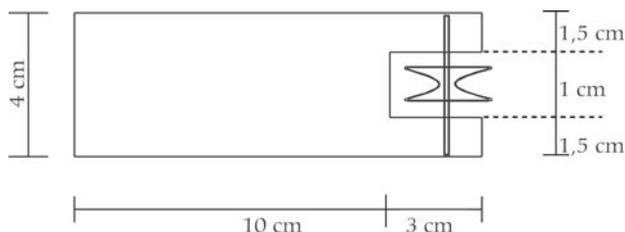


Figura 5 - Suporte para a roldana pela qual passa o fio de náilon entre o eixo do disco e a garrafa PET cheia de água ou areia.

nho da garrafa PET por um simples cilindro.

### Descrição do funcionamento

A alavanca do freio gira para cima e para baixo presa pelo seu parafuso de fixação (Fig. 1). Este movimento deve ser controlado, de forma que nenhuma parte da alavanca toque no disco. Observe que o disco gira muito próximo dos ímãs colocados nas paredes internas da alavanca quando esta está levantada.

Para ver o freio magnético em funcionamento basta girar manualmente o disco, enrolando o fio no seu eixo, pois com isso a garrafa PET será levantada até tocar a base do experimento, o qual deve, por sua vez, estar sobre uma mesa (não desenhada na Fig. 6) ou algo ainda mais alto do que isto. Em seguida, liberando-se o disco e com a alavanca afastada deste, ele entrará em movimento circular uniformemente acelerado, e antes que a garrafa chegue ao solo, mova rapidamente a alavanca para próximo do disco para ver a garrafa e o disco serem fortemente freados, sem contudo pará-los, pois não há força magnética se não houver movimento. Se a garrafa estiver suficientemente afastada do piso, por exemplo, a 2 m deste, será possível frear, soltar e voltar a frear algumas vezes durante a queda da garrafa.

### Conclusões

O presente experimento, feito com materiais de baixo custo, substitui com vantagens as onerosas versões comerciais que usam eletroímãs. Provavelmente as aulas sobre magnetismo e correntes de Foucault poderão ficar muito mais interessantes aos alunos se o professor se dispuser a fazer e usar o experimento aqui descrito.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Adeline Carlos Ferreira de Souza pelo empréstimo da sua oficina para desenvolvermos parte deste experimento. JNSN agradece

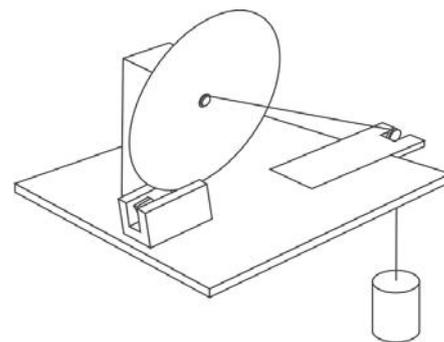


Figura 6 - Esquema completo da montagem do poderoso freio magnético usando ímãs de disco rígido.

ao programa Jovens Talentos para a Ciência da FAPERJ pela bolsa recebida.

### Nota

<sup>1</sup>Jean Bernard Leon Foucault nasceu em Paris em 18 de setembro de 1819. Inicialmente estudou medicina, mas após concluir o curso, decide por abandoná-lo para se dedicar à física. Em 1851 ele constrói o seu famoso experimento do Pêndulo de Foucault, constituído por uma esfera metálica pesando 28 kg suspensa por um fio de aproximadamente 67 m, para demonstrar a rotação da Terra. Depois de alguns anos, inventa e constrói o giroscópio, um aparelho que o permitiria realizar novas experiências sobre o movimento da Terra. Foucault recebeu pela descoberta do giroscópio a medalha Copley, da Royal Society de Londres. Em 1855 se torna assistente de física do Observatório Imperial de Paris. Deve-se a Foucault a descoberta das correntes induzidas em um condutor quando em movimento na presença de um campo magnético intenso. Foucault morreu em 11 de fevereiro de 1868, em Paris [2].

### Referências

- [1] J.B.G. Canalle e R. Moura, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **17**, 96 (2000).
- [2] W.F. Magie, *A Source Book in Physics* (Harvard University Press, Cambridge, 1963), p. 342.



.....  
**Fernando Lang da Silveira**  
Departamento de Física, Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, Porto  
Alegre, RS, Brasil  
E-mail: lang@if.ufrgs.br

.....  
**Maria de Fátima Oliveira Saraiva**  
Departamento de Astronomia,  
Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mail: fatima@if.ufrgs.br  
.....

**C**o espetáculo da lua cheia nascendo, e depois se elevando no céu, encanta a nossa sensibilidade! Além de a lua cheia nascente nos parecer muito maior do que quando se encontra alta no céu, a sua cor se modifica durante a ascensão. No dia 20 de fevereiro de 2008, ocorreu um eclipse total da Lua. Como é bem sabido, eclipses da Lua somente podem acontecer durante a lua cheia.

A seqüência de fotos da Fig. 1 foi realizada desde o nascimento da lua cheia até quase o seu encobrimento total pela sombra da Terra.

Na Foto 1, vemos a lua cheia nascente, ainda próxima do horizonte leste, plenamente iluminada pela luz do Sol que está se pondo no horizonte oposto. Apesar de o disco lunar se apresentar encoberto por nuvens, é possível observar que ele tem uma cor amarelada contra o céu azul, ainda iluminado pelo Sol. Depois, na Foto 2, a Lua encontra-se um pouco mais elevada (mas ainda próxima do horizonte), exibindo um belo tom de amarelo contra o céu azul escuro, fracamente iluminado pelo Sol. A Foto 3 foi realizada às 21h05min, portanto quando a lua cheia já se encontrava elevada no céu. Agora a cor da Lua é branca contra o céu escuro. As Fotos 4 a 6 foram tomadas enquanto a Lua penetrava no cone de sombra - ou umbra - da Terra, o que ocorreu a partir das 22h43min.

A seqüência de fotos da Fig. 1 foi realizada com uma câmera digital com aumento óptico e digital, perfazendo uma ampliação de cinco vezes, mantida para todas as fotos. Comparando as imagens, é possível perceber que o disco lunar tem o mesmo tamanho em todas elas, comprovando que ele permanece inalterado

enquanto a Lua se eleva. Portanto, a avaliação de que a lua cheia nascente é muito maior do que quando está elevada no céu é uma ilusão [1]. A Fig. 2 mostra uma fotografia da lua cheia durante o auge do

eclipse, quando então o disco lunar se apresentava com uma bela cor amarela alaranjada. Assim, o objetivo desse artigo é dar uma explicação para as diferentes cores que podemos observar na lua cheia, inclusive durante os

**A atmosfera terrestre, iluminada pela luz branca do Sol, espalha preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul em todas as direções. Desta forma, de qualquer ponto do céu iluminado com a luz solar, chegará luz azulada aos nossos olhos e veremos o céu azul**

eclipses totais.

### **Por que o céu é azul?**

Um aspecto fundamental para a compreensão das cores que a Lua pode apresentar tem relação direta com o fato de o céu diurno ser azul.

A atmosfera terrestre, fortemente iluminada pela luz branca do Sol, espalha<sup>1</sup> preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul em todas as direções. Este tipo de espalhamento é denominado de espalhamento de Rayleigh, e acontece quando as partículas que interagem com a luz têm um tamanho muito menor do que o comprimento de onda da luz, que é o caso das moléculas de oxigênio (O<sub>2</sub>) e nitrogênio (N<sub>2</sub>) da atmosfera terrestre. No espalhamento de Rayleigh, a intensidade da luz espalhada é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Usando o exemplo de Lynch e Livingston [2], isso significa que a luz azul, com comprimento de onda de 450 nm, é espalhada com intensidade cerca de 3 vezes maior do que a luz vermelha, de comprimento de onda de 600 nm. Portanto a luz espalhada pelas moléculas do ar é muito mais azulada do que a luz que sobre elas incidiu. Desta forma, de qualquer ponto

---

A lua cheia muda de cor conforme se eleva no céu. No nascente apresenta-se amarelada e depois, quando já se encontra elevada no céu, é branca. Durante um eclipse total, a Lua pode se apresentar com uma variedade de cores entre marrom e amarelo. Discutimos as razões pelas quais a lua cheia exhibe cores variadas.



Figura 1 - Sequência de fotos mostrando a aparência do disco lunar durante a lua cheia de 20 de fevereiro de 2008, observada na cidade de Laguna, Santa Catarina. As bordas inferiores das fotografias estão grosseiramente alinhadas paralelamente ao horizonte.



Figura 2 - A Lua se apresenta em cor amarela alaranjada durante o auge do eclipse. Foto gentilmente cedida pela fotógrafa e publicitária Ana Lúcia Meinhardt, que a realizou utilizando uma máquina fotográfica acoplada a um telescópio do Observatório Astronômico da PUCRS.

do céu iluminado com a luz solar, chegará luz azulada aos nossos olhos e veremos o céu azul.

Caso não houvesse espalhamento da radiação solar na atmosfera, o céu não emitiria luz e se apresentaria negro. Tal é o que acontece à noite, quando a atmos-

fera, fracamente iluminada pelas estrelas e pela Lua, reemite por espalhamento com tão pequena intensidade que não percebemos e, portanto, o céu noturno se apresenta escuro, negro. Se não tivéssemos atmosfera, veríamos o céu negro mesmo durante o dia, quando o Sol apareceria como um disco brilhante (e um pouco mais esbranquiçado do que realmente o vemos) entre as demais estrelas.

A Fig. 3 representa de maneira esquemática a chegada de luz solar branca em uma região da atmosfera. De acordo com esse esquema, um observador receberá radiação espalhada e enxergará aquela região do céu como azul.

Para partículas muito maiores do que o comprimento de onda da luz, como é o caso das gotículas de água, o espalhamento não depende mais do comprimento de onda, e portanto a intensidade da luz espalhada é a mesma para todas as cores. É por isso que as nuvens são brancas e, em dias muito nublados, vemos o céu todo esbranquiçado.

#### As cores do Sol

Para explicar a cor que o Sol (ou qualquer astro) apresenta,

interessa conhecer a luz que, proveniente do astro, é transmitida (não espalhada) através da atmosfera até o local da observação.

A intensidade de luz solar espalhada, além de depender do comprimento de onda, é influenciada pelo comprimento do trajeto que a radiação percorre ao atravessar a atmosfera. Ao entardecer, quando o Sol se encontra próximo ao horizonte, a luz solar deve percorrer um caminho mais longo na atmosfera do que quando o Sol se encontra elevado no céu. A Fig. 4 representa esquematicamente que a luz proveniente do Sol (ou de qualquer outro astro) deve, quando se encontra no zênite, atravessar a menor extensão de atmosfera para chegar à superfície da Terra; quando o astro se encontra no horizonte, a luz que ingressa na atmosfera percorre uma distância muito maior até chegar à superfície da Terra. Se tomarmos a espessura da atmosfera como sendo cerca de 100 km, a luz do Sol nascente ou poente deve atravessar cerca de 1000 km de atmosfera para chegar até a superfície da Terra (é importante destacar que, na Fig. 4, a espessura da atmosfera se encontra muito exagerada em comparação com o raio da Terra, cujo valor perfaz cerca de 6400 km).

Desta forma, conforme o Sol esteja mais próximo do horizonte, tanto mais luz é espalhada, retirando assim da luz branca preferencialmente a radiação nas frequências próximas à da cor azul. A luz transmitida (não-espalhada), por ter perdido parte das componentes com frequências mais altas, apresentar-se-á mais amarela (vide a luz transmitida na Fig. 3), podendo atingir a tonalidade de laranja e até de vermelho. Isto explica porque a cor do Sol muda do quase branco quando se encontra elevado no céu para os tons avermelhados característicos do nascente ou poente. As partículas de poeira presentes na atmosfera também contribuem para o avermelhamento do Sol, pois também espalham mais a luz azul do que a luz vermelha, embora não de

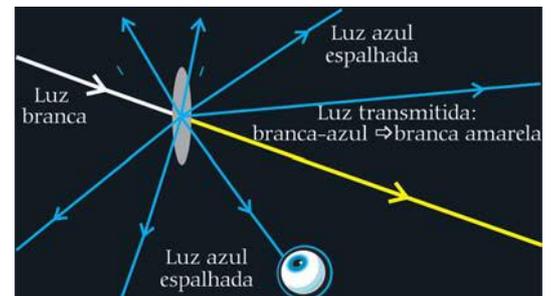


Figura 3 - Luz solar branca incide sobre uma região da atmosfera que espalha preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul.



Figura 4 - Quando um raio de luz incide perpendicularmente à superfície terrestre, o seu caminho através da atmosfera é mínimo; quanto mais perto do horizonte se encontra o astro, mais longo é o percurso da luz dentro da atmosfera.

maneira tão diferenciada quanto no espalhamento de Rayleigh. Para esses grãos de poeira, cujo tamanho é semelhante ao comprimento de onda da luz, a intensidade da radiação espalhada é inversamente proporcional à primeira potência do comprimento de onda. Mesmo assim, esse efeito se soma ao espalhamento pelas moléculas de gás, de forma que, quanto mais poeira houver na atmosfera, mais vermelho será o Sol no crepúsculo.

### As cores da lua cheia

A Lua reflete a luz branca proveniente do Sol. Embora nosso satélite pareça muito brilhante, reflete apenas 6,7% da luz que recebe do Sol [3], estando entre os objetos de menor refletividade do sistema solar. As partes mais brilhantes de sua superfície são as regiões mais altas e com crateras, compostas de rochas ricas em cálcio e alumínio. As regiões mais escuras são zonas mais baixas, chamadas 'mares', compostas de rochas basálticas que refletem muito pouco a luz, daí sua cor acinzentada.

Quando vemos a lua cheia nascendo

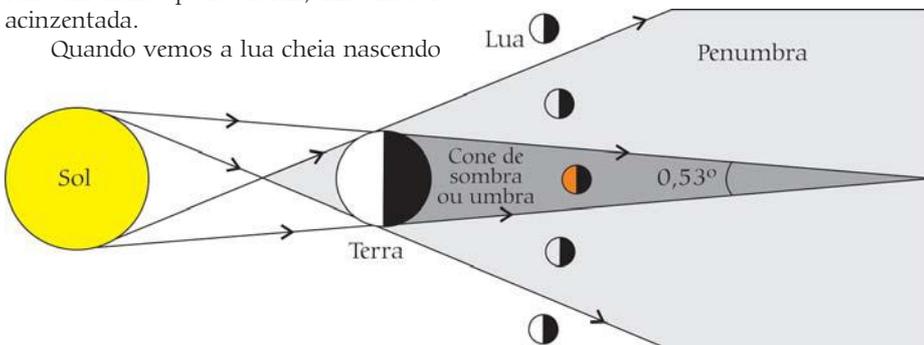


Figura 5 - Representação esquemática das condições para a ocorrência de um eclipse total da Lua.

(ela nasce quando o Sol está se pondo), a luz por ela refletida deve percorrer um trajeto mais longo através da atmosfera do que quando, horas mais tarde, encontra-se elevada no céu. Desta forma, ao se apresentar próxima ao horizonte, a luz branca proveniente da Lua tem mais luz azulada subtraída por espalhamento; portanto a radiação transmitida através da atmosfera contém menos luz azulada no nascente da Lua do que quando ela está alta no céu. Assim, a luz que chega aos olhos de quem aprecia a lua cheia nascente, será amarelada (vide as Fotos 1 e 2 da Fig. 1) por ter sido retirada da luz branca, por espalhamento, a luz azulada. Depois, enquanto a Lua se eleva, menos espalhamento do azul acontece, resultando em uma luz transmitida com menos perda de azul e, portanto, aproximando-se cada vez mais de ser branca (vide as Fotos 3 a 6 da Fig. 1).

### A cor da Lua durante seu eclipse

A Fig. 5 representa esquematicamente as condições para a ocorrência de um eclipse total da Lua (as dimensões do Sol, da Terra e da Lua não estão representadas em escala, bem como as distâncias entre os três corpos).

A Fig. 6 ilustra o caminho da Lua, sobre o plano que é perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra, do ponto de vista de um observador localizado na parte noturna do hemisfério sul de nosso planeta, no eclipse total de 20 de fevereiro de 2008. A Lua, apesar de ter penetrado completamente no cone de sombra da Terra, não passou pelo centro da umbra. A Fig. 6 foi construída tomando por base a Ref. [4]. O círculo maior representa a zona de penumbra da Terra e o círculo menor indica a umbra.

As diferentes cores e tonalidades da Lua na Fig. 6 reproduzem a sua aparência nas diversas etapas do eclipse. A foto da Fig. 2 foi reduzida e colocada dentro da umbra para retratar a Lua no auge do

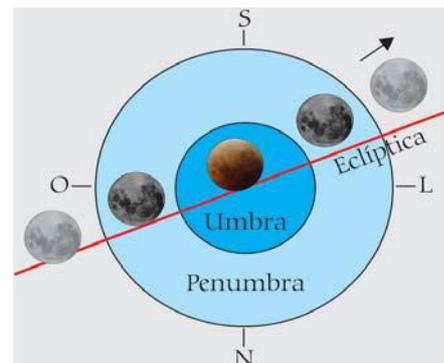


Figura 6 - Trajetória da Lua no plano perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra em 20 de fevereiro de 2008.

eclipse, isto é, quando a Lua se encontrava na região mediana do seu trajeto dentro da umbra. A linha vermelha indica a intersecção do plano da órbita da Terra (eclíptica) em torno do Sol com o plano da Fig. 6.

A Fig. 7 é uma representação esquemática de uma possível trajetória da Lua, no plano perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra, durante um eclipse parcial. Neste caso, a Lua não ingressa completamente na umbra.

Se interpretarmos literalmente os diagramas das Figs. 5 e 6 concluiremos que, para um observador na Terra, a Lua deve se tornar invisível quando ela se encontrar completamente imersa no cone de sombra, pois não haverá mais luz solar para ser refletida em direção à Terra. Entretanto, conforme a fotografia da Fig. 2, a Lua se apresenta ainda iluminada com luz amarela alaranjada! A atmosfera terrestre desempenha um papel importante para que ocorra a iluminação da Lua quando ela já se encontra completamente imersa no interior do cone de sombra. O fenômeno responsável por isso é a refração; a refração atmosférica sempre eleva a imagem de um objeto celeste, a menos que o objeto esteja no zênite, quando então a sua altura já é a máxima possível. Conforme indicado na Fig. 8, quanto menor for a altura de um astro, maior será o

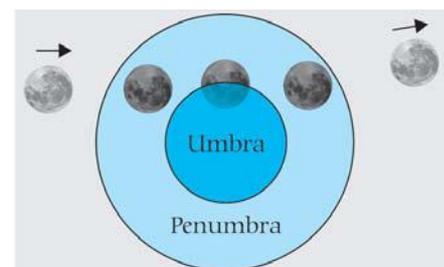


Figura 7 - Trajetória da Lua no plano perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra durante um eclipse parcial.

desvio de sua posição real.

Os raios de luz provenientes da estrela na posição 3 não sofrem desvio porque incidem perpendicularmente na atmosfera; os raios provenientes da estrela na posição 2 sofrem desvio e o observador a enxerga na posição aparente 2. Os raios provenientes da estrela na posição 1 sofrem um desvio ainda maior, e o observador a enxerga na posição aparente 1. É devido à refração da luz solar na atmosfera da Terra que ainda podemos ver o disco do Sol, por inteiro, sobre o horizonte, até 2 minutos depois de ele ter realmente começado a se pôr (isto é, quando de fato a borda inferior do disco solar já desceu abaixo da linha do horizonte). A refração atmosférica determina que a lua cheia nascente já possa ser vista no horizonte quando, na realidade, ainda se encontra abaixo da linha do horizonte!

Durante um eclipse lunar total, a luz solar que atravessa tangencialmente a atmosfera da Terra sofre refração, sendo desviada para dentro do cone de sombra da Terra, iluminando fracamente a Lua. Mas essa luz já está quase desprovida de suas componentes com frequências mais altas, as quais foram espalhadas como discutimos anteriormente. A luz que consegue atravessar a atmosfera, ingressando na umbra, resulta então apresentar tonalidades que vão do amarelo brilhante, passando pelo laranja e podendo chegar até o vermelho. Um astronauta que estivesse na Lua durante um eclipse total veria o Sol completamente eclipsado pela Terra, a qual apareceria como um disco escuro circundado por um halo avermelhado de luz solar, pois o grande espalhamento na atmosfera terrestre das frequências próximas à da cor azul determina a chegada de luz avermelhada aos olhos do astronauta. Essa luz avermelhada que atinge a Lua é refletida e retorna em direção de quem observa o eclipse da Lua na superfície da Terra. A Fig. 9 representa de forma esquemática o trajeto da luz que ingressa na umbra após atravessar a atmosfera, iluminando a Lua.

Enquanto a Lua transita dentro do cone de sombra, a iluminação da sua superfície é variável, mudando inclusive de tonalidade. Isso mostra que o cone de sombra não é uniformemente escurecido, sendo mais escuro na parte mais central, perto do seu eixo. Na fotografia da Fig. 2 vemos que a iluminação da superfície da Lua não é homogênea. A parte amarela brilhante da Lua se encontra mais próxima da borda do cone de sombra do que a região diametralmente oposta. A região mais próxima à borda da umbra é iluminada por luz menos desviada por refração na atmosfera

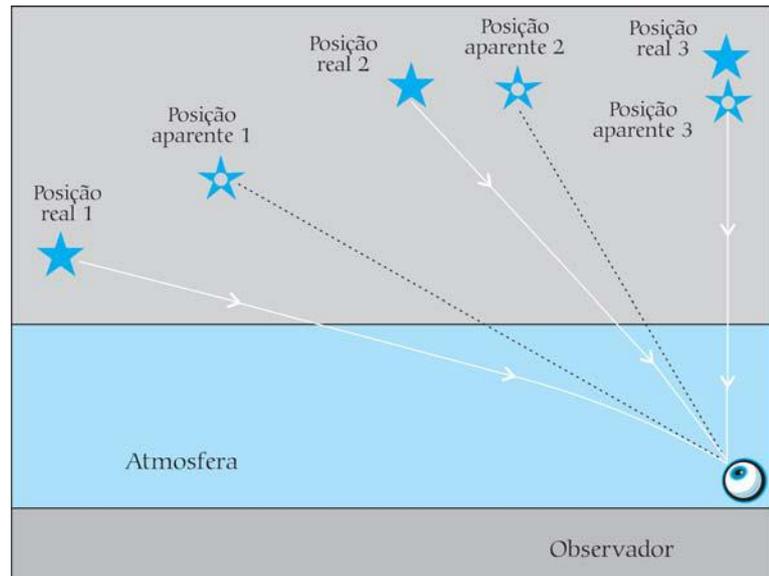


Figura 8 - Devido à refração atmosférica, os raios luminosos parecem vir de uma direção um pouco acima da posição real do astro.

da Terra e que, por ter sido refratada em uma camada atmosférica mais alta e menos densa, sofreu menos espalhamento, deixando essa parte da umbra relativamente brilhante. A região mais próxima do eixo da umbra é iluminada por luz que, tendo atravessado as camadas mais baixas e mais densas da atmosfera da Terra, desvia por refração e espalha mais a luz do Sol, transmitindo luz menos intensa e mais avermelhada [5].

A Fig. 9 indica que a luz desviada pela refração atmosférica para o interior da umbra possui coloração (e intensidade) diferente, variando com o trajeto percorrido ao cruzar a atmosfera.

Dependendo das condições da atmosfera, como por exemplo o tamanho das

partículas, o espalhamento das frequências mais altas que constituem a luz branca solar se dará de maneira diferente. Assim sendo, durante um eclipse total da Lua podem acontecer cores mais ou menos amarelas, laranjas ou vermelhas, sendo que a intensidade da iluminação da Lua também pode variar de um para outro eclipse. O brilho da Lua depende da trajetória que ela segue dentro da umbra (quanto mais perto do centro da umbra passar a Lua, mais escuro será o auge do eclipse) e de quanta luz é refratada na nossa atmosfera para o interior da umbra. Outros fatores que contribuem para eclipses mais escuros são o excesso de nuvens no terminadouro<sup>2</sup> da Terra e a quantidade de partículas sólidas suspensas na atmosfera, como poeira e

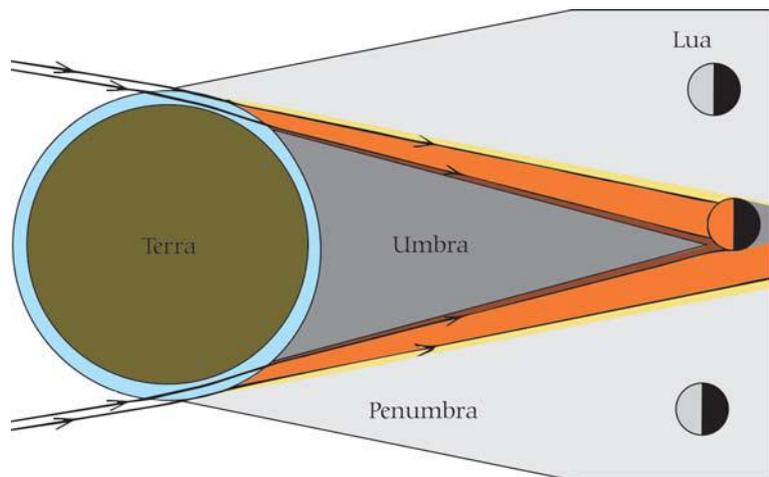


Figura 9 - A luz solar que atravessa a atmosfera, ingressando no cone de sombra da Terra, é amarela alaranjada devido ao espalhamento do azul na atmosfera e é desviada por refração para dentro do cone de sombra.

cinzas vulcânicas. Grandes erupções vulcânicas, que jogam muitas partículas de cinza na atmosfera, geralmente são seguidas durante vários anos por eclipses muito escuros e vermelhos [6]. O astrônomo francês André Danjon propôs uma escala de cinco graus para avaliar o brilho e a cor da Lua durante um eclipse total, atribuindo o grau 0 para eclipses muito escuros, em que a Lua fica quase invisível, até o grau 4 para eclipses em que a Lua fica com tons alaranjados ou acobreados, muitas vezes mostrando uma margem brilhante azulada.

### Conclusão

As cores que a lua cheia apresenta dependem da luz solar que chega até ela e é refletida, mas resulta também das condições da atmosfera terrestre, que pode subtrair, por espalhamento, luz com frequência na faixa próxima da cor azul. A atmosfera da Terra também é responsável por podermos enxergar a Lua mesmo em eclipses lunares totais, quando refrata e ao mesmo tempo espalha fortemente os raios do Sol quase tangentes à superfície do planeta, fazendo com que eles iluminem a umbra com luz amarela, laranja e vermelha. Assim, a lua cheia tem cores variáveis durante a sua viagem através

do céu noturno e, mesmo quando escondida à sombra da Terra, nos proporciona um espetáculo inusitado e belo.

### Agradecimento

Agradecemos à Profa. Maria Cristina Varriale do IM-UFRGS pela leitura crítica e pelas sugestões apresentadas a este artigo.

### Notas

<sup>1</sup>O espalhamento da luz é o fenômeno pelo qual a luz, ao interagir com pequenas partículas, sofre mudança aleatória em sua direção. A intensidade da luz espalhada depende do tamanho da partícula comparada com o comprimento de onda da luz. O espalhamento da luz não pode ser confundido com a dispersão da luz. A dispersão acontece se a velocidade de propagação da luz (ou de qualquer onda) em um meio depender da frequência da luz, isto é, luzes com cores diferentes viajam através do meio com velocidades diferentes. Desta forma, na dispersão o índice de refração da luz muda com a frequência. A dispersão acarreta, por exemplo, que a luz branca que atravessa um prisma apresenta-se decomposta nas cores do arco-íris, pois os raios luminosos com frequências diferentes, emergem do prisma

segundo direções um pouco diferentes, sendo a luz vermelha a que menos se refrata e a azul a que sofre maior refração.

<sup>2</sup>Terminadouro é a margem entre o hemisfério iluminado e o hemisfério escuro de um corpo que não emite luz própria.

### Referências

- [1] F.L. Silveira e A. Medeiros, Física na Escola **7**(2), 67 (2006).
- [2] D. Lynch and W. Livingston, *Colors and Light in Nature* (Cambridge University Press, Nova York, 1995).
- [3] C.W. Allen, *Astrophysical Quantities* (The Ahtlone Press, London, 1973).
- [4] I.G. Varela e P.D.C.F. Oliveira, *Uranometria Nova*, Circular Astronômica n. 32. Disponível em <http://www.uranometrianova.pro.br/circulares/circ0032.htm>. Acessado em abril de 2008.
- [5] R.A. Keen, *What will 2004's Lunar Eclipse look like?*. Disponível em: <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEmono/TLE2004Oct28/image/TLE2004keen.html>. Acessado em abril de 2008.
- [6] F. Espenak, *Danjon Scale of Lunar Eclipse Brightness*. Disponível em <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/Danjon.html>. Acesso em 2005.



Manuel Bandeira, Recife, PE  
19/4/1886-13/10/1968

## Manuel Bandeira e a Lua

### Satélite

Fim de tarde.  
No céu plúmbeo  
A lua baça  
Paira  
Muito cosmograficamente  
Satélite.

Desmetaforizada,  
Desmitificada,  
Despojada do velho segredo de  
melancolia,  
Não é agora o golfão de cismas,  
O astro dos loucos é dos enamorados,  
Mas tão-somente  
Satélite.

Ah Lua deste fim de tarde,  
Demissionária de atribuições românticas,  
Sem show para as disponibilidades  
sentimentais!

Fatigado de mais valia,  
Gosto de ti assim:  
Coisa em si,  
- Satélite.

### Lua Nova

Meu novo quarto  
Virado para o nascente:  
Meu quarto, de novo a cavaleiro da  
entrada da barra.

Depois de dez anos de pátio  
Volto a tomar conhecimento da aurora.  
Volto a banhar meus olhos no mônstruo  
incurto das madrugadas.

Todas as manhãs o aeroporto em frente  
me dá lições de partir:  
Hei de aprender com ele  
A partir de uma vez  
- Sem medo,  
Sem remorso,  
Sem saudade.

Não pensem que estou aguardando a lua  
cheia  
- Esse sol da demência  
Vaga e noctâmbula.  
O que eu mais quero,  
O de que preciso  
É de lua nova

Poemas extraídos do livro *Bandeira - Antologia Poética* (Livraria José Olympio Editora, Rio de Janeiro, 1980), 10ª ed.



**E**ste trabalho visa o desenvolvimento de uma montagem experimental para demonstração de superposição de cores [1-3]. Algumas vezes, é proposta uma simples superposição da luz de lâmpadas coloridas [4-6]. Entretanto, nós consideramos que o resultado obtido não é nítido, problema que

pode ser sanado usando-se três projetores de slides ou três retroprojetores (vide Fig. 1). Difícilmente o professor dispõe desses equipamentos, por isso neste trabalho

apresentamos uma “caixa de cores” contendo três projetores caseiros de baixo custo [7] que possibilitam uma projeção bastante nítida de três círculos coloridos (Fig. 2). Esses são obtidos pela projeção de círculos com diâmetro  $\sim 2$  cm, amplificados pelo projetor de slides com um aumento  $\sim 10$  vezes (detalhes do funcionamento e de construção deste equipamento constam no Anexo). Com este equipamento podemos desenvolver em sala a adição e subtração de cores e sombras coloridas. Neste trabalho discutiremos exemplos de aplicações que podem ser utilizadas em aulas de demonstrações interativas [8-9]. Discussões mais aprofundadas de diversos fenômenos envolvendo cores podem ser encontradas em diversos textos ou sítios da internet [10-12].

#### Adição de cores

A percepção da cor depende das características do olho e do cérebro humano, logo, elas precisam ser consideradas na compreensão deste fenômeno. O ser hu-

mano é capaz de perceber a chamada luz visível, ou seja, o intervalo de comprimento de onda entre aproximadamente 400 e 700 nm. A retina (nosso detector de luz) contém três tipos de cones, que são células sensíveis à luz. Cada um deles é responsável por perceber uma região do

**Mesmo quando a luz é interrompida, um cone continua enviando o sinal ao cérebro por  $\sim 1/30$  s. Este intervalo de tempo relativamente longo explica o efeito observado no famoso disco de Newton**

espectro da luz visível (Fig. 3), ou seja, o vermelho (R), o verde (G) e o azul (B), com maior sensibilidade em 600 nm, 550 nm e 450 nm, respectivamente (por conveniência usaremos a

notação do inglês onde R, G e Y representam o vermelho, verde e amarelo (*Red, Green, Yellow*)). Porém, isto não significa que podemos perceber apenas três tipos de cores. Quando um destes cones recebe luz de sua respectiva cor, ele envia um sinal ao cérebro, de acordo com sua reposta espectral (Fig. 3) que aumenta com a intensidade da luz [9]. Por exemplo, quando vemos luz de 680 nm a resposta dos cones vermelhos é muito maior que a dos cones

**Nosso detector de luz (a retina) contém três tipos de cones. Cada um deles é responsável por perceber uma região do espectro da luz visível: o vermelho (R), o verde (G) e o azul (B), com maior sensibilidade, em 600 nm, 550 nm e 450 nm, respectivamente**

verde e azul, resultando na sensação da luz vermelha. Por outro lado, a luz de comprimento de onda 580 nm estimula igualmente (aproximadamente) os cones vermelhos e verdes, resultando na percepção da cor amarela. Entretanto, quando

dois feixes de luz, por exemplo, vermelho e verde, são sobrepostos nós também temos a sensação da cor amarela (Fig. 4). Mesmo quando a luz é interrompida, a célula (cone) continua enviando o sinal por  $\sim 1/30$  s [9]. Este intervalo de tempo (ou tempo de resposta) relativamente longo explica o efeito observado no famoso disco de Newton [4].

.....  
**Gláucia Grüniger Gomes Costa**

E.E. Prof. José Juliano Neto, São Carlos, SP, Brasil

E-mail: gggcosta@gmail.com

**Benedito Antonio Cortese**

E.E. Dr. Djalma Forjaz, Porto Ferreira, SP, Brasil

E-mail: benepf@yahoo.com.br

**Roberto Scurachio**

E.E. José Ferreira da Silva, Descalvado, SP, Brasil

E-mail: scurachi@terra.com.br

**Tomaz Catunda**

Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil

E-mail: tomaz@ifsc.usp.br  
.....

A “caixa de cores” aqui proposta é um equipamento de baixo custo, fácil manuseio e com uma projeção abrangente para a sala de aula toda. Com ela é possível realizar demonstrações interativas sobre adição e subtração de cores e discutir fenômenos correlatos (sombras coloridas, televisão colorida, mistura de tintas em pintura, impressoras, etc.)

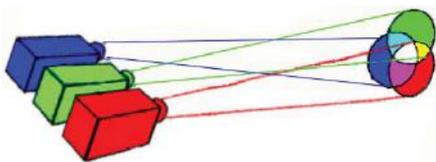


Figura 1 - Montagem esquemática da superposição de cores usando três projetores de slides (diapositivos) [1].

A Fig. 4 foi obtida com a nossa “caixa de cores”, que consiste basicamente de três projetores de slides [ver Anexo]. Cada projetor é montado em um trilho óptico com uma lâmpada dicrômica, um slide com filtro colorido e uma lente de distância focal  $\sim 12$  cm. Um acessório opcional, mas interessante, da “caixa de cores” é o dispositivo para variar a potência de uma das lâmpadas, que é comercialmente conhecido como *dimmer*. Assim podemos mostrar que a tonalidade da cor muda continuamente conforme varia a proporção dos componentes da mistura. Por exemplo, se aumentamos a intensidade do verde (ou diminuímos o vermelho) obtemos tons amarelos esverdeados, chamados de verde-limão. No caso oposto, obtemos tons laranja.

Outros exemplos importantes de serem mostrados são a mistura das cores verde e azul resultando na cor ciano; e a mistura de azul e vermelho resultando no magenta. Ciano é uma tonalidade azul esverdeada comumente chamada de verde-água ou azul-piscina e o magenta é usualmente chamado de roxo (carmim, rosa-choque ou fúcsia). A Fig. 5 mostra a superposição dos três círculos vermelho, verde e azul que resulta no branco, assim como as superposições das cores, duas a duas.

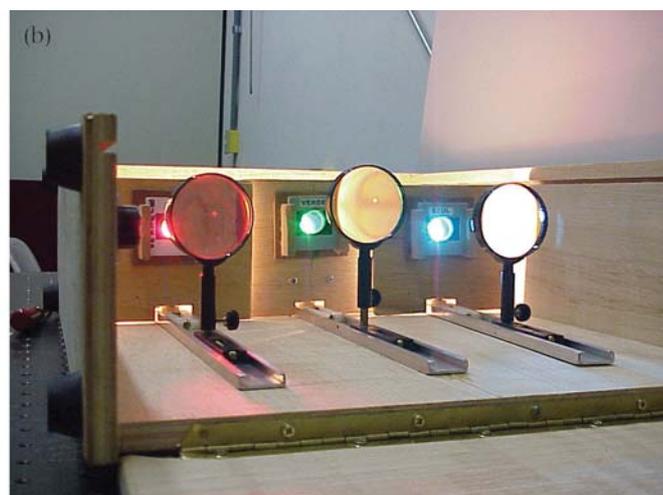
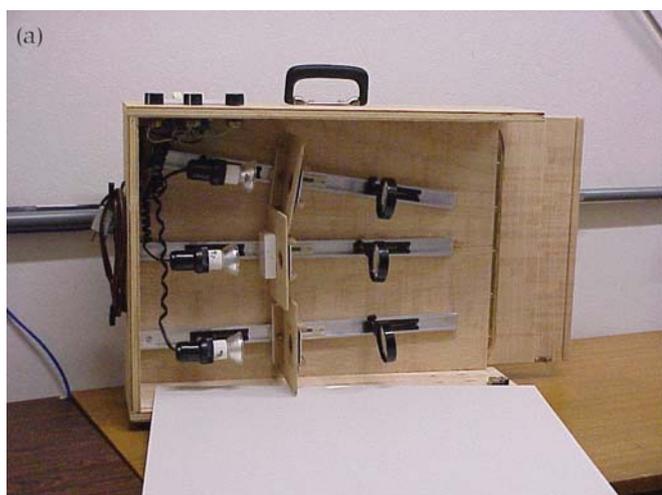


Figura 2 - (a) Vista superior da “caixa de cores” com três projetores de slides, caseiros, contendo trilhos ópticos de alumínio, lâmpadas dicrômicas, porta-slides com filtros coloridos e lentes. O tampo branco da caixa é removível (na parte inferior da foto) e pode ser utilizado como anteparo. (b) Vista frontal mostrando os filtros coloridos e as lentes.

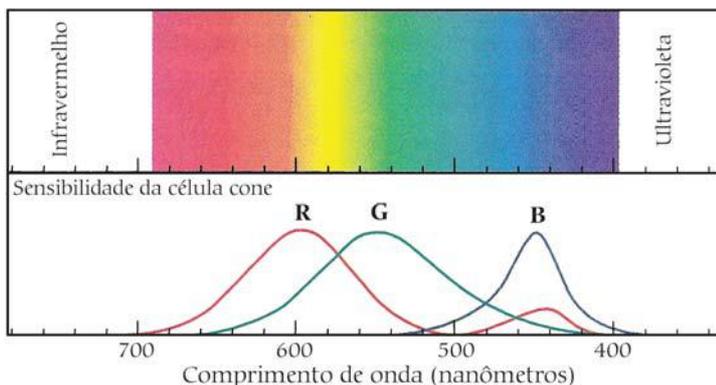


Figura 3 - Diagrama ilustrando a parte visível do espectro eletromagnético e a curva de sensibilidade dos três tipos de cones [3].

Na verdade, qualquer cor pode ser obtida variando adequadamente as proporções de vermelho, verde e azul. Estas três cores são denominadas *cores primárias*. Na adição de duas cores primárias

resulta em uma *cor secundária*, por exemplo, vermelho + verde = amarelo ou  $R + G = Y$ . Além disso, vemos também que a soma de verde (G = Green) e azul (B = Blue) resulta no ciano (C = Ciano), logo  $G + B = C$ . Analogamente,  $R + B = M$ , pois a soma de vermelho e azul é o magenta (M = Magenta); e a soma das três cores primárias resulta no branco,  $R + G + B = W$  (White). O fenômeno de adição de cores é o princípio básico do sistema conhecido como RGB usado na televisão colorida e no moni-

tor de computadores. A Fig. 5 ilustra também o exemplo da soma do amarelo e azul resultando no branco, ou seja,  $Y + B = W$ . Este resultado pode ser compreendido lembrando que Y



Figura 4 - Sobreposição (adição) de luzes coloridas. Luz vermelha (R) e verde (G) sobrepostas resultando o Amarelo (Y).

$= R + G$ , logo  $Y + B = (R + G) + B = W$ . Analogamente, temos  $C + R = W$  e  $M + G = W$ . Nestes três casos temos a soma de uma cor secundária (Y, C ou M) com sua cor primária complementar, resultando no branco (W).

### Sombras coloridas

Uma das conseqüências interessantes do fenômeno de adição de cores é o efeito de sombras coloridas ilustrado na Fig. 6a. Para esta demonstração fazemos a superposição de círculos coloridos das três cores primárias (R, G e B) resultando num único círculo branco (W). A foto foi obtida colocando-se um objeto opaco de  $\sim 3$  cm de largura um pouco a frente do anteparo. Bloqueando-se uma das três primárias, as outras duas se misturam (ou somam) gerando a cor secundária. Por exemplo, no lado esquerdo do diagrama da Fig. 6a, a luz B é bloqueada obtendo-se Y, pois  $W - B = (R + G + B) - B = R + G = Y$ . Note que Y é a cor complementar de B e, tal como mostrado na Fig. 5,  $B + Y = W$ . Analogamente, do lado direito a cor R é bloqueada resultando no C, pois  $W - R = C$ . A Fig. 6a ilustra também regiões onde duas cores são bloqueadas, resultando em apenas uma cor primária. No centro observa-se uma região preta, devido a ausência de cor. É interessante observar que a seqüência de cores ilustrada na Fig. 6a: W, Y, R, preto, B, C, W (da esquerda para a direita), depende da disposição das luzes (R, G e B). Note que na Fig. 6a as cores G e M não aparecem. Outras seqüências podem ser obtidas alterando-se a ordem das luzes. Por exemplo, com a seqüência (B, R e G) obtemos a (W,

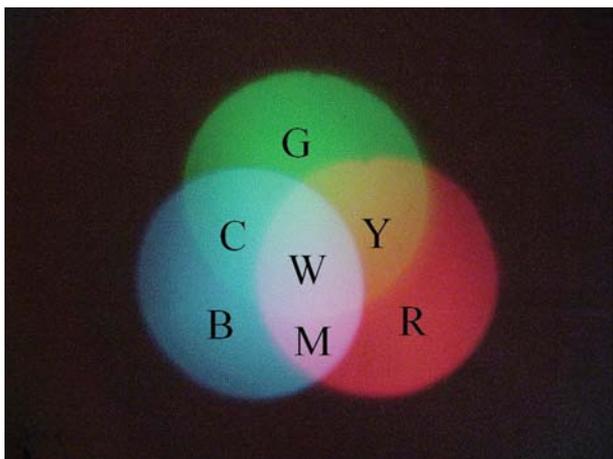


Figura 5 - Sobreposição das luzes vermelha, verde e azul (R, G, B), denominadas cores primárias. A superposição (ou adição) de duas cores primárias resulta nas cores secundárias, resultando em magenta (M), amarela (Y), ciano (C) e no centro a branca (W). A superposição de uma cor secundária com sua cor primária complementar resulta na cor branca ( $B + Y = W$ ,  $M + G = W$ ,  $C + R = W$ ).

### Anexo: detalhes da construção do kit "caixa de cores"

A "caixa de cores" (Fig. 2) consta de uma caixa de madeira, com as seguintes dimensões: 60 cm  $\times$  45 cm  $\times$  16 cm. Possui uma frente dobrável e o seu tampo, feito de madeira Eucatex® branca, é deslizável e removível, servindo de anteparo para os experimentos, colocado no apoio da lousa, quando feitas as projeções.

No fundo da caixa são fixados 3 trilhos ópticos. Utilizamos o trilho para poder ajustar o foco, ou seja, obter uma imagem nítida do *slide* no anteparo de observação. O trilho central é completamente fixo e os dois laterais são fixos apenas com um parafuso para que possam ficar móveis, e permitir a sobreposição das projeções dos círculos quando necessários.

Na Fig. 7 temos a disposição dos elementos sobre o trilho óptico, utilizada para os experimentos. Normalmente com  $f = 12$  cm, usamos  $p \sim 13$  cm. Neste caso, pela equação de Gauss ( $1/p + 1/p' = 1/f$ ) obtemos  $p' \sim 130$  cm, resultando numa ampliação de módulo  $|A| = (p'/p) = \phi'/\phi \sim 10$ . Ou seja, o diâmetro do círculo projetado é  $\phi' \sim 20$  cm para  $\phi \sim 2$  cm. As lâmpadas utilizadas são preferencialmente do tipo dicróicas (P = 50 W), que fornecem luz "mais branca" que as lâmpadas comuns. Utilizamos lentes de vidro com foco  $\sim 12$  cm comumente encontradas como lupas. Não recomendamos o uso de lentes plásticas pois geralmente têm qualidade muito ruim e as lentes de vidro também são de baixo custo e facilmente encontradas nas populares lojas de 1.99. Os filtros coloridos que usamos são comercialmente chamados de "gelatina", são usados em holofotes de teatro. Seu custo ( $\sim 10$  R\$/m<sup>2</sup>) é maior que o dos plásticos coloridos comuns, pois este tipo de material suporta temperaturas relativamente elevadas. Os filtros coloridos que utilizamos são da marca Rosco [13] tipo E-colour nas cores: vermelha (n. 106 - Primary Red), verde (n. 139 - Primary Green), azul (n. 118 - Light Blue), amarelo (n. 102 - Light Amber), magenta (n. 111 - Dark Pink) e cian (n. 353 - Lighter Blue).

Se surgir alguma dificuldade em se adquirir os filtros coloridos, uma alternativa que se pode ter é utilizar lâmpadas coloridas Sylvania Decorativa®, nas cores: vermelha, verde e azul. Estas foram as de melhor resultado, mas não possibilitam o trabalho com as cores secundárias, visto não se ter lâmpadas que forneçam as cores ciano e magenta.

Quaisquer outras informações, assim como roteiros para aulas de demonstração interativa podem ser obtidas diretamente com os autores.

M, B, preto, G, Y, W). A Fig. 6b ilustra as sombras coloridas de uma mão. É importante notar que a explicação neste caso é mais complexa do que na Fig. 6a, pois devido às reentrâncias existentes na mão, todas as cores aparecem (R, G, B, W, preto, Y, M e C).

Sugerimos que a demonstração seja feita primeiramente sem os filtros coloridos e com apenas duas lâmpadas acesas para que os alunos compreendam os efeitos de sombra e penumbra que aparecem nesta montagem.

### Subtração de cores

Um outro estudo interessante que se pode realizar com a "caixa de cores" é a Subtração de Cores. Este é o fenômeno que ocorre nos pigmentos, tintas de pintura, tintas de impressão, os quais se comportam como filtros coloridos, ou

seja, conforme a luz vai penetrando nas tintas, nos pigmentos, as cores vão sendo absorvidas.

Consideremos inicialmente o caso de um filtro amarelo. Quando a luz branca (mistura de todas as cores) incide sobre um filtro amarelo, o filtro absorve preferencialmente a luz azul, transmitindo o verde e vermelho. Conseqüentemente, o filtro fica com a cor amarela devido à absorção característica do pigmento amarelo deste filtro. Pelo mesmo motivo, a cor de um objeto amarelo se deve ao fato dele absorver preferencialmente o azul e refletindo o verde e vermelho. Tanto no caso da transmissão quando da reflexão, podemos dizer que a luz amarela é o resultado da *subtração* da cor azul da luz originalmente branca. Analogamente, o filtro ciano subtrai o vermelho, e o filtro magenta o verde. Por isso, denominamos o filtro amarelo de "menos azul" pois  $W + (-B) = R + G + B + (-B) = Y$  e, analogamente, o ciano é "menos vermelho" ( $-R$ ) e o magenta é "menos verde" ( $-G$ ).

Se a luz branca incide sobre três filtros coloridos sobrepostos, os filtros amarelo ( $-B$ ), magenta ( $-G$ ) e ciano ( $-R$ ), quando

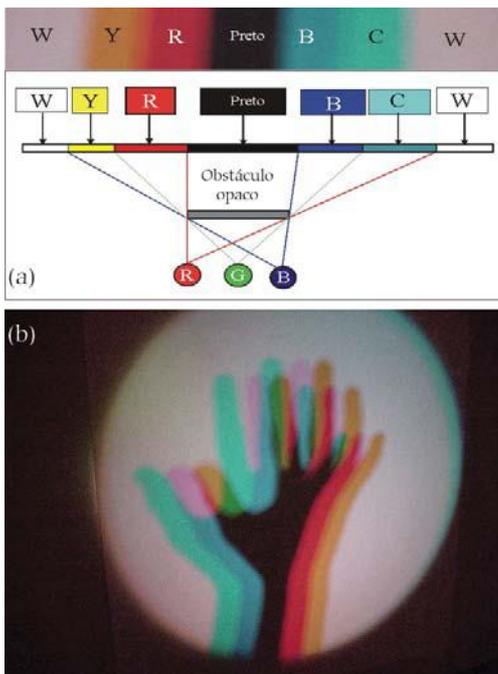


Figura 6 - Formação de sombras coloridas. (a) Fotografia e diagrama esquemático da formação de sombras coloridas onde se observa as cores: W, Y, R, preto, B, C, W. (b) Mão iluminada com luz Branca (R + G + B), que devido às reentrâncias faz com que apareçam todas as cores primárias, secundárias e a cor preta que é devido à ausência de cor.

ela incidir na sobreposição dos filtros amarelo e magenta obtemos a luz vermelha, pois a luz branca primeiro incide no filtro amarelo (subtraindo a parte azul da luz, ou seja,  $W + (-B) = G + R$ ) e depois passando pelo magenta (subtraindo a parte verde,  $G + R + (-G) = R$ ). Na sobreposição dos filtros amarelo e ciano, percebemos a luz verde, pois,  $[W + (-B)] + (-R) = [G + R] + (-R) = G$ , e na sobreposição dos filtros ciano e magenta vemos a luz azul, visto que  $[W + (-R)] + (-G) = [G + B] + (-G) = B$ . Observa-se também, que na sobreposição dos três filtros coloridos vemos preto, que é a ausência de cor  $W + (-G) + (-B) + (-R) = \text{zero}$  (preto). A demonstração experimental da subtração de cores é mais simples do que a de adição

**A “caixa de cores” que aqui apresentamos, é um equipamento de baixo custo, fácil manuseio e com uma projeção abrangente para uma sala de aula**

### Conclusão

A “caixa de cores”, que aqui apresentamos, é um equipamento de baixo custo, fácil manuseio e com uma projeção abrangente para uma sala de aula. Desta forma, as demonstrações realizadas levam a uma interação maior com os alunos. Dentre as possibilidades experimentais para o

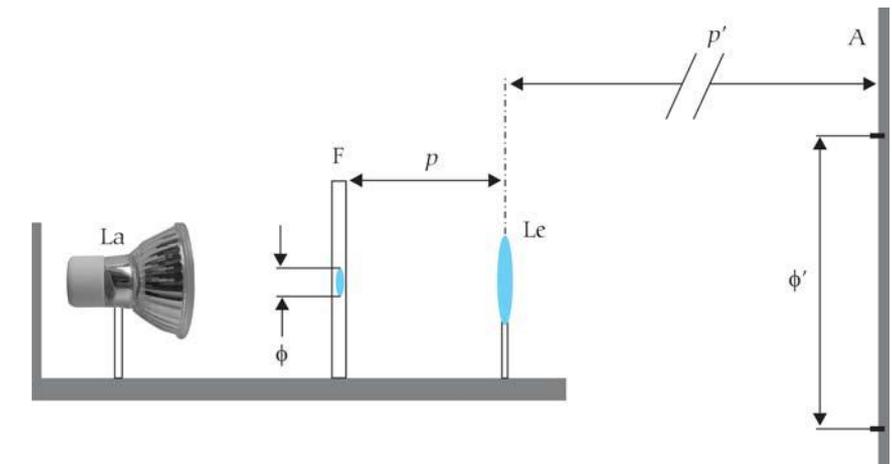


Figura 7 - Disposição dos elementos no trilho óptico. Este projetor caseiro é formado por uma lâmpada dicróica (La); um suporte, com um furo de diâmetro  $\phi \sim 2$  cm, onde se tem um porta-slide com o filtro colorido (F); uma lente (Le) que está a uma distância  $p \sim 12$  cm de F e  $p' \sim 120$  cm do anteparo (A). A imagem projetada no anteparo tem um diâmetro  $\phi \sim 20$  cm.

estudo de cores, que podem ser desenvolvidas com este equipamento, temos a adição e subtração de cores e sombras coloridas. Com isto os alunos podem compreender melhor os fenômenos que encontramos nas televisões coloridas, monitores de computadores, impressoras (laser e de jato de tinta), nas pinturas, aquarelas, entre outros.

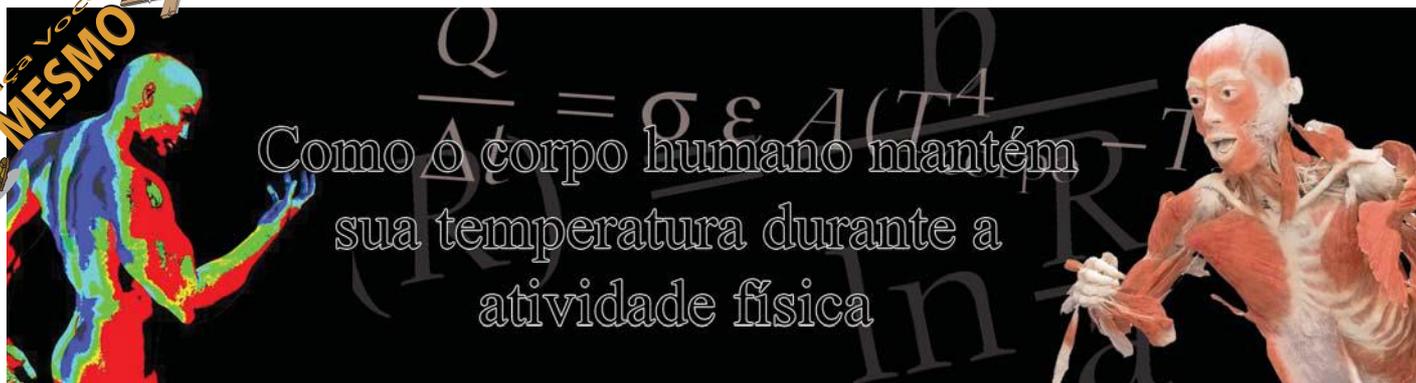
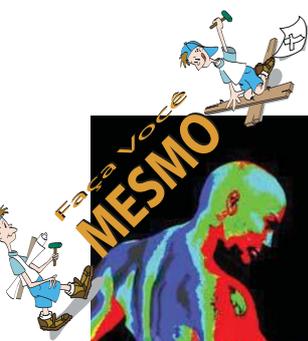
Gostaríamos de comentar brevemente alguns aspectos didáticos. Como sabemos, para que se alcance uma aprendizagem significativa é importante que as pré-concepções dos alunos sobre luz e cores sejam consideradas. Por exemplo, uma concepção errônea comum é a de que quando a luz passa por um prisma, as cores são adicionadas à luz incidente (originalmente branca). Nós observamos que os alunos confundem os efeitos de adição e subtração de cores. O fato de que a mistura das cores

azul e verde resulta no ciano ( $B + G = C$ ) não surpreende muito os alunos, pois podemos entender o ciano como um verde azulado. Entretanto, o efeito observado na obtenção do amarelo (Fig. 4) é mais surpreendente (não intuitivo) e deve ser comentado pelo professor. Também a obtenção do branco a partir do amarelo e azul (Fig. 5), visto que o aluno normalmente espera que a superposição (soma) destas cores resulte no verde pois é o efeito observado quando tintas ou pigmentos são misturados (subtração da luz). Finalmente, gostaríamos de observar que o professor deve demonstrar ou discutir os experimen-

tos fundamentais de Newton (*Experimentum Crucis*) que mostram a decomposição da luz branca, antes ou junto ao uso da “caixa de cores”.

### Referências

- [1] P.G.Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.
- [2] A.I. Pedrosa, *Da Cor à Cor Inexistente* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1989), 5ª ed.
- [3] L.A.Bloomfield, *How Things Work - The Physics of Every Day* (John Wiley & Sons Inc, Nova York, 1997).
- [4] Alberto Gaspar, *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental* (Editora Ática, São Paulo, 2005).
- [5] <http://axpfep1.if.usp.br/~gref/optica/optica2.pdf>.
- [6] R.J. Horowicz, *Luz, Cores, Ação: A Óptica e Suas Aplicações Tecnológicas* (Moderna, São Paulo, 1999).
- [7] Tiago R. da Silva, *Física na Escola 5:1*, 15 (2004).
- [8] D.R. Sokoloff and R.K. Thornton, *Phys. Teach.* **35**, 340 (1997).
- [9] *Powerful Ideas in Physical Science: A Model Course. v. 1, Light and Color* (American Association of Physics Teachers, College Park, 1995).
- [10] <http://www.di.ubi.pt/~pmoura/ensino/tm0405/Cor.pdf>.
- [11] I.Pedrosa, *O Universo Da Cor* (Senac, Rio de Janeiro, 2003), 1ª ed.
- [12] <http://www.if.ufrj.br/teaching/luz/cor.html>.
- [13] <http://www.rosco.com/us/filters/ecolour.asp>.



# Como o corpo humano mantém sua temperatura durante a atividade física

O ser humano é homeotérmico, isto é, possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoavelmente estreita (em torno de  $36,5\text{ }^\circ\text{C}$ )<sup>1</sup>, apesar das variações térmicas do ambiente. O equilíbrio térmico é conseguido através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor.

Parte da energia liberada pelo funcionamento normal dos órgãos internos e pelos músculos durante a atividade física é energia térmica (calor). Uma pessoa em repouso libera a cada segundo uma quantidade de calor correspondente a cerca de 90 joules. Ao se praticar exercício, a velocidade de produção de calor pelo músculo aumenta em função da intensidade do exercício, que transitoriamente é maior que a velocidade de dissipação de calor do músculo. O primeiro meio utilizado para remover o calor dos músculos durante o exercício é a sua transferência (por condução) para o sangue. A velocidade de transferência do calor é proporcional ao produto do fluxo sanguíneo local e à diferença de temperatura entre o músculo e o sangue arterial. Desta maneira, grande parte do calor produzido pelos músculos trabalhados é transferida para o resto do organismo pela circulação. Quando isso ocorre, a temperatura interna como um todo começa a se elevar, desencadeando reflexos fisiológicos que promovem um aumento da transferência do calor interno para a pele e desta para o meio ambiente. Estes reflexos servem para diminuir e eventualmente cessar o aumento da temperatura do organismo, pois seu aquecimento excessivo durante o exercício reduz a eficiência do sistema circulatório,

**O ser humano é homeotérmico (possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoavelmente estreita, apesar das variações térmicas do ambiente). O equilíbrio térmico é conseguido através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor**

limitando a capacidade do coração de liberar sangue oxigenado na velocidade necessária para a pele e para os músculos. Portanto os mecanismos de transferência de calor para o ambiente são fundamentais para a fisiologia humana.

Estando o ambiente externo a uma temperatura mais baixa que a temperatura corporal, há três mecanismos básicos pelos quais se dá a perda de calor para o ambiente: condução, irradiação e, caso a temperatura da pele atinja  $37,0\text{ }^\circ\text{C}$ , disparando os mecanismos de controle homeostático do hipotálamo, a transpiração [1].

## Condução

A transferência de calor por condução ocorre na medida em que o corpo, a uma temperatura maior do que a ambiente, transfere energia através da pele e aquece o ar a sua volta. Nesse caso a transferência se dá molécula a molécula, e portanto depende não apenas da área exposta ao ar mas também dos tipos de moléculas e das formas pelas quais elas estão ligadas e interagem entre si. Esta dependência está expressa pela constante de proporcionalidade  $k$  (condutividade térmica do material) na equação básica da condução

$$\frac{Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_{\text{corpo}} - T_{\text{ar}})}{d}$$

onde o fluxo de calor transferido por condução (à esquerda) é proporcional à área exposta e ao gradiente de temperatura, no caso entre a pele e o ar ambiente [2]. A distância  $d$  representa portanto a distância (no ar) ao longo da qual a temperatura cai da temperatura da pele para a temperatura ambiente. Assumindo uma estima-

.....  
**Fernanda Luz, Marina Azevedo e Raíza Oliveira**

Alunas da 3ª série do ensino médio do Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Roberto Pimentel**

Professor de física do Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: beto@if.ufrj.br  
.....

O corpo humano troca calor com o ambiente através de três processos básicos: condução, irradiação e transpiração. Este último processo constitui a ferramenta básica do organismo para a manutenção de uma temperatura corporal aproximadamente constante. Ele é disparado não apenas quando a temperatura externa é maior do que a temperatura corporal, mas também quando o calor gerado internamente devido à realização de atividades físicas demanda um aumento da taxa com que o corpo perde calor para o ambiente. Monitorou-se não só o aumento da temperatura corporal com a intensidade da atividade física realizada por uma pessoa, mas também a relação entre a frequência cardíaca e a temperatura, destacando uma defasagem que ocorre entre a diminuição da primeira e da segunda à medida em que a intensidade da atividade física é reduzida. Para realizar as medições, usou-se um termômetro eletrônico construído e calibrado pelas autoras dentro do curso de física da 2ª série do ensino médio.

tiva de 5 cm para esta distância, considerando 2 m<sup>2</sup> como a área exposta do corpo de uma pessoa média e tomando o valor da condutividade térmica do ar ( $k_{\text{ar}} = 5,7 \times 10^{-5} \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})$ ), obtemos uma perda de calor por condução de aproximadamente 10,5 W para uma pessoa exposta ao ar em repouso a 23,0 °C [3].

### Irradiação

Todo corpo irradia (e absorve) energia na forma de ondas eletromagnéticas. O fluxo de calor irradiado por um corpo pode ser calculado pela lei de Stefan-Boltzmann

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \epsilon A T^4,$$

onde  $T$  é a temperatura do corpo em kelvins e  $A$  sua área em m<sup>2</sup>.  $\sigma$  é uma constante universal, a constante de Stefan-Boltzmann, e vale  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$ .  $\epsilon$  é a emitância do material considerado. Para o corpo humano podemos considerar  $\epsilon = 0,97$ .

Entretanto, o corpo não apenas emite calor na forma de radiação eletromagnética como também a absorve do meio externo. A perda “líquida” de calor depende então da temperatura do ar ambiente. Podemos ajustar a lei de Stefan-Boltzmann para levar em consideração a radiação absorvida da seguinte forma

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \epsilon A (T_{\text{corpo}}^4 - T_{\text{ar}}^4).$$

Assim podemos calcular que a mesma pessoa, na mesma condição ambiente do cálculo anterior, também estará perdendo 133 W “líquidos” por irradiação. A perda por irradiação, pelo menos neste caso, é portanto muito mais relevante que a perda por condução.

### Transpiração

Quando não estamos fazendo exercício físico, se a temperatura ambiente subir acima da temperatura corporal, boa parte da umidade da pele evapora (no mínimo 600 g por dia), “roubando” cerca de 17 W do corpo. Em casos extremos é possível perder até 1,5 litro por hora, levando a perda de calor em uma taxa de quase 2,4 kW! Isso mostra o quão importante (e eficiente) é o processo da transpiração na regulação da temperatura do corpo.

Mesmo no caso mais comum da temperatura ambiente estar abaixo da temperatura corporal, a atividade física intensa pode chegar a um ponto em que as perdas por condução e irradiação não são suficientes para dar vazão à produção interna de calor do corpo. Quando a pele atinge uma temperatura de cerca de 37,0 °C, co-

meçamos a suar. A transpiração é um importante mecanismo de controle da temperatura do corpo<sup>2</sup>. Ela faz uso do alto calor de vaporização da água (580 cal/g a 37°C)<sup>3</sup> para retirar quantidades apreciáveis de calor do corpo.

### Medição da temperatura corporal durante exercícios físicos

No laboratório de informática do CAP-UFRJ, a uma temperatura ambiente controlada de aproximadamente 23 °C e ar relativamente seco (ar-condicionado), as autoras fizeram uma série de exercícios, de intensidade crescente: 10 min em repouso sentadas (A), 2 min andando rápido (B), 2 min trotando (C), 3 min fazendo deslocamentos laterais (D), e 3 min subindo e descendo de uma cadeira (E). Ao final da série, passavam 5 min andando devagar (F), diminuindo o ritmo, até retornar finalmente ao repouso por mais 5 min (G).

Ao longo dos exercícios, mediu-se a temperatura com o termômetro digital preso a uma das axilas. Os batimentos cardíacos foram medidos simultaneamente através de um freqüencímetro comercial (aparelho utilizado para monitorar a freqüência cardíaca), posto na altura do peito, local onde se consegue sentir bem as pulsações do coração. Junto com esse aparelho vem um relógio digital próprio, que nos mostra a freqüência dos batimentos.

O termômetro digital construído pelo grupo foi conectado a um computador através da porta de jogos (DB-15) e mediu-se a resistência com o auxílio de

um programa específico.<sup>4</sup> Com o computador, a resistência do sensor (termistor)<sup>5</sup> pôde ser medida praticamente a cada instante. Esta resistência pode ser convertida em valores de temperatura porque conhecemos a relação entre as duas grandezas para o termistor

$$R(T) = ae^{\frac{b}{T}},$$

em que as constantes  $a$  e  $b$  são próprias de cada termistor e podem ser determinadas experimentalmente (calibração)<sup>6</sup>. A função inversa

$$T(R) = \frac{b}{\ln \frac{R}{a}}$$

nos dá a temperatura em função dos valores de resistência lidos [4]. Os gráficos a seguir mostram os resultados obtidos.

A temperatura começa estável<sup>7</sup> e aumenta progressivamente à medida que a atividade física vai ficando mais intensa

(Fig. 1). A fase E, que corresponde à atividade física mais intensa (subindo e descendo rapidamente de uma cadeira) corresponde à temperatura mais alta alcançada, em torno de 37,5 °C. Note que, devido à transpiração, a temperatura se estabiliza neste patamar mesmo com a continuação do exercício.

**Quando não estamos fazendo exercício físico, se a temperatura ambiente subir acima da temperatura corporal, a transpiração faz com que boa parte da umidade da pele evapore (no mínimo 600 g por dia), “roubando” cerca de 17 W do corpo. Em casos extremos é possível perder até 1,5 litro por hora, levando a perda de calor a uma taxa de quase 2,4 kW!**

O monitoramento da freqüência cardíaca no mesmo período mostra uma repetição do comportamento observado para a temperatura (Fig. 2), com algumas pequenas diferenças. No começo quase não há variação na freqüência cardíaca, mas a partir dos 10 min (fase B), quando a pessoa começa a andar rapidamente, os batimentos sobem bastante. Nos últimos

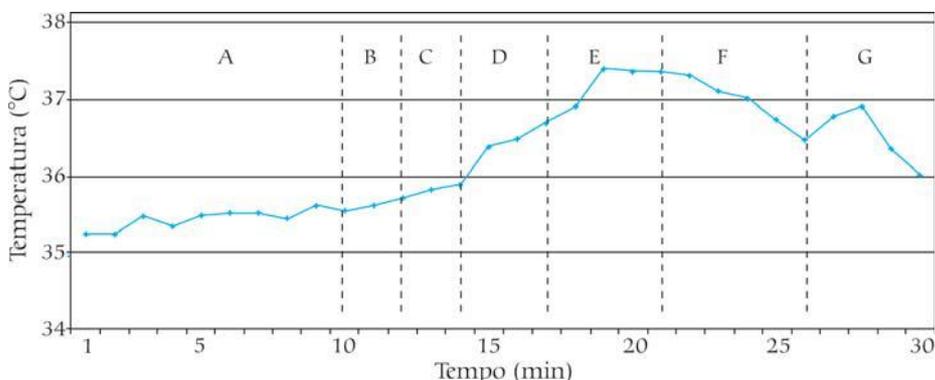


Figura 1 – variação da temperatura corporal (axila) ao longo da série de exercícios realizada.

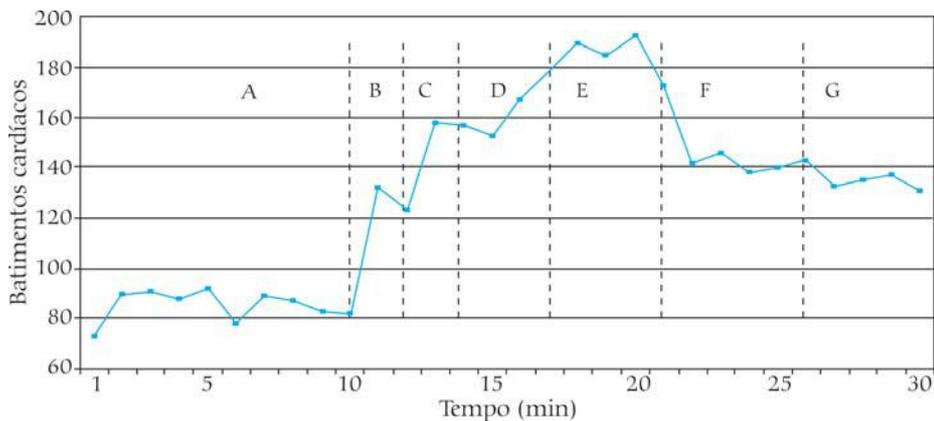


Figura 2 – Variação da frequência cardíaca (em batimentos por minuto) ao longo da série de exercícios realizada.

10 min os batimentos caíram brusca-mente logo que os exercícios encerraram-se, mas depois foram se estabilizando.

Está bem nítida a correlação entre temperatura e frequência cardíaca. Quando os batimentos estão baixos (entre 80 e 100 batimentos por minuto) a temperatura não varia nem um grau Celsius, pois quase não há uma variação da frequência. Já quando há um aumento grande da frequência a temperatura também fica muito mais alta. É interessante perceber que a temperatura não cai tão rapidamente quanto a frequência cardíaca ao final da série de exercícios: quando a frequência abaixou para cerca de 130 ou 140 batimentos por minuto (fase F) a temperatura ainda se manteve alta por algum tempo antes de começar a baixar – em torno de 37,0 °C. Isso significa que a temperatura não “retorna” pelo mesmo caminho à medida que diminuimos a intensidade do exercício, apresentando portanto um efeito de histerese. Por exemplo, em duas situações diferentes (fases B e F), a frequência é de aproximadamente 140 batimentos por minuto, mas com mais de 1,0 °C de diferença entre uma situação e outra.

### Conclusão

Se a pessoa estiver com um Índice de Massa Corporal (IMC)<sup>8</sup> normal, isto é, entre 18,5 e 25 kg/m<sup>2</sup>, seu peso e sua altura não fazem muita diferença na evolução da temperatura. Caso ela esteja fora desta faixa, no entanto, a sua relação superfície-volume provavelmente causará uma diferença. Porém, o que provavelmente mais influencia o perfil da evolução da temperatura e principalmente dos batimentos cardíacos são os hábitos de cada um: no caso de uma pessoa sedentária, o coração vai ter que bombear o sangue a uma velocidade maior do que se ela praticasse alguma atividade, pois ela já estaria acostumada aos exercícios e assim os batimentos não aumentariam tanto [5]. Além disso, no caso da pessoa sedentária, os batimentos cardíacos

**O que provavelmente mais influencia o perfil da evolução da temperatura e dos batimentos cardíacos de quem faz exercícios são os hábitos de cada um. No caso de uma pessoa sedentária, o coração vai ter que bombear o sangue a uma velocidade maior do que se ela praticasse alguma atividade, pois ela já estaria acostumada aos exercícios e assim os batimentos não aumentariam tanto**

demorariam mais tempo para diminuir e voltar ao normal. A influência de ambos os fatores (IMC e sedentarismo) pode ser estudada pelo método apresentado, o que constitui uma perspectiva de continuação do trabalho.

O trabalho de finalização do curso de física da segunda série do ensino médio do CAP-UFRJ de 2006 envolveu a elaboração de um projeto original baseado no uso de um termômetro digital construído e calibrado previamente pelas alunas como trabalho de grupo do bimestre anterior. A proposta realizada consistiu em estudar os processos pelos quais o corpo troca calor com o meio ambiente e relacionar a variação da temperatura corporal com a frequência cardíaca em diferentes situações: em repouso e praticando exercícios físicos de diferentes intensidades.

Além do caráter transdisciplinar do projeto, que envolveu a articulação de conhecimentos de física do calor com os conteúdos desenvolvidos no curso de matemática sobre as funções exponenciais e logarítmicas e os tópicos de saúde e fisiologia abordados no

curso de educação física, a proposta de trabalho de grupo é relevante no contexto do ensino de física por três outros motivos. O primeiro diz respeito ao caráter experimental do projeto, que supre a deficiência de um espaço específico para esse tipo de pesquisa (laboratório). O segundo reme-

te à importância de relacionar elementos da tecnologia e do dia-a-dia dos alunos (computadores, softwares, eletrônica, termologia, fisiologia e atividades físicas) entre si e com os conteúdos desenvolvidos nas disciplinas escolares. Por último, a proposta relativamente aberta constitui uma atividade de natureza criativa e de caráter cooperativo. O trabalho em grupo pode ser desenvolvido fora do horário de aula, em casa ou na escola, atingindo os interesses de cada grupo de alunos [6].

### Agradecimentos

Agradecemos a Ananias Neto e João Faria, alunos do CAP-UFRJ, bem como ao licenciando em física Bernardo Medina. O professor de educação física do CAP-UFRJ, Marcos Pimentel, criou a série de exercícios. Agradecemos ainda ao professor de biologia Igor França, do CAP-UFRJ, pelas dicas de fisiologia, e, finalmente, ao professor Carlos Eduardo Aguiar, do Instituto

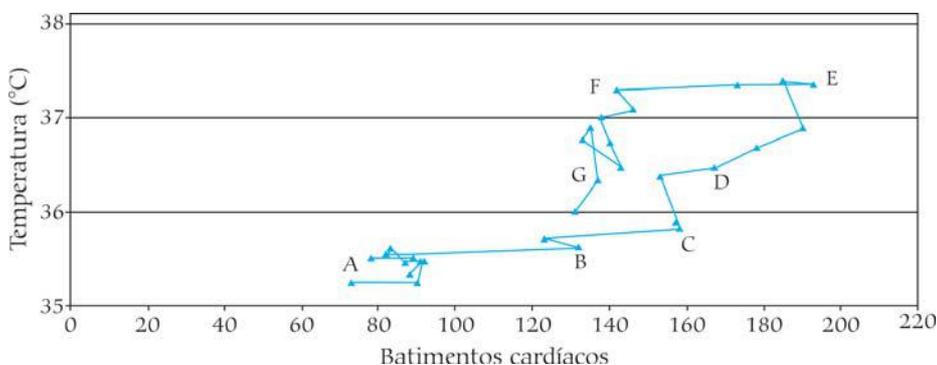


Figura 3 – Correlação entre frequência cardíaca (em batimentos por minuto) e temperatura corporal ao longo da série de exercícios realizada.

de Física da UFRJ, pelas sugestões relativas ao texto.

### Notas

<sup>1</sup>A temperatura da pele é, no entanto, cerca de dois a três graus mais baixa, em geral.

<sup>2</sup>Parte do calor é perdido através da umidade do ar exalado na respiração.

<sup>3</sup>O calor latente de vaporização da água é 540 cal/g no ponto de ebulição, mas a temperaturas mais baixas ele é significativamente maior, dado que as energias de ligação entre as moléculas de água são maiores a temperaturas mais baixas.

<sup>4</sup>O programa utilizado foi o AqDados 2.0 desenvolvido por Ives Solano Araujo (UFRGS) e disponível pela internet em

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/Aqdados20.zip>.

<sup>5</sup>Elemento de circuito cuja resistência elétrica varia fortemente com a temperatura.

<sup>6</sup>Isto já havia sido feito previamente. Para tanto basta tomar duas temperaturas dentro da faixa de operação do termistor e montar um sistema de equações em que as únicas variáveis são  $a$  e  $b$ .

<sup>7</sup>A incerteza da calibração é da ordem de 2 °C, portanto o valor em torno de 35,3 °C não deve ser estranhado.

<sup>8</sup>O IMC é um parâmetro fisiológico de uso rotineiro, e é calculado como a razão entre a massa em quilogramas e o quadrado da altura, em metros, de uma pessoa [7].

### Referências

- [1] E. Okuno, I.L. Cadas e C. Chow, *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas* (Editora Harbra, São Paulo, 1982), cap. 11.
- [2] L.A. Guimarães e M. Fonte Boa, *Física para o Ensino Médio, Termologia e Óptica* (Editora Galera HiperMídia, Niterói, 2006).
- [3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/coobod.html#c1> (Hyper Physics).
- [4] <http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/cap/capjoystick.html>.
- [5] <http://www.gssiweb.com/> (Gatorade Sports Science Institute).
- [6] B. Medina, *Termometria Através do Computador; Projeto de Instrumentação Para o Ensino (trabalho final de licenciatura)* (IF, UFRJ, 2006).
- [7] <http://www.copacabanarunners.net/imc.html>.

## É ouro! Brasil campeão da XIII Olimpíada Ibero-Americana de Física

No dia 4 de outubro voltou do México a equipe brasileira da Olimpíada Brasileira de Física (OBF) que participou da XIII Olimpíada Ibero-americana de Física (OIbF). A XIII OIbF ocorreu de 28 de setembro a 3 de outubro, em Morélia, no México, com a participação de 68 estudantes de 19 países. Nossa equipe, selecionada e preparada pela Olimpíada Brasileira de Física, foi formada pelos estudantes Mariana Quezado Costa Lima, George Gondim Ribeiro, Leonardo Mendes Valério Almeida e Deric de Albuquerque Simão e conquistou três medalhas de ouro e uma de prata. A delegação brasileira foi acompanhada pelo Prof. Carlito Lariucci, do Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás. Além das medalhas, a Equipe Brasileira obteve a melhor nota nas provas experimental e teórica, e a primeira posição na classificação geral.

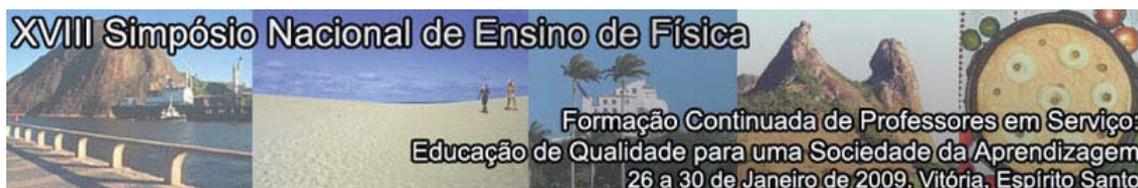
O resultado obtido na XIII OIbF é fruto do trabalho que a Sociedade Brasileira de

Física (SBF) vem realizando por meio da Olimpíada Brasileira de Física, através da Comissão Nacional e das Coordenações Estaduais, com o apoio do CNPq. Foi na edição da OBF 2006 que esses estudantes começaram sua maratona de estudos. Desde então, eles receberam orientação de seus professores, dos coordenadores estaduais da OBF, além de terem feito diversas provas seletivas sob a orientação da Comissão de Preparação. Antes da viagem ao México eles ainda passaram por um treinamento intensivo no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, em São Carlos, sob a Coordenação do Prof. Euclides Marega Júnior, da Comissão de Preparação.

Nossos parabéns à delegação, aos Colégios e Professores que apoiam a Olimpíada Brasileira de Física e dela participam, e a toda a equipe – Coordenadores Estaduais, Secretaria da OBF – que fez o acompanhamento e preparação dos estudantes.

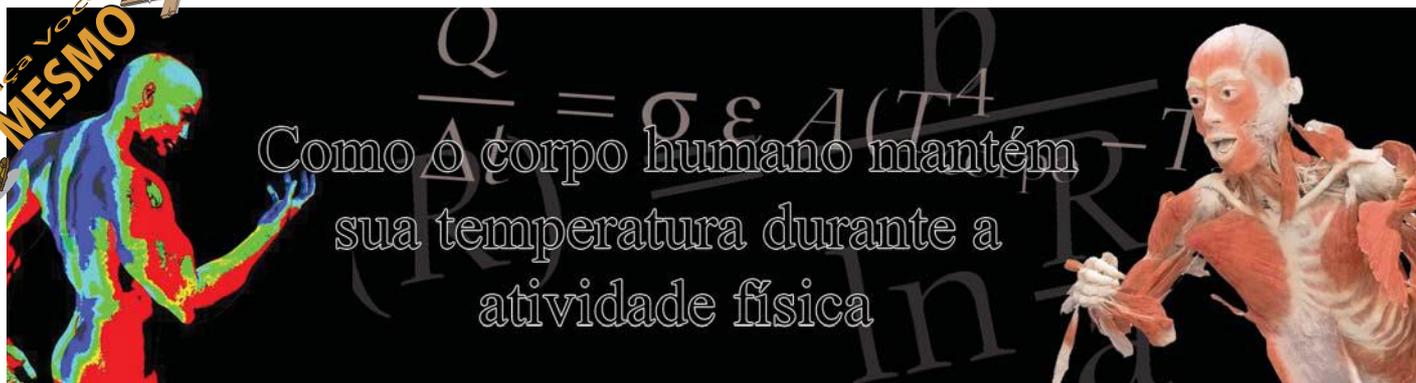
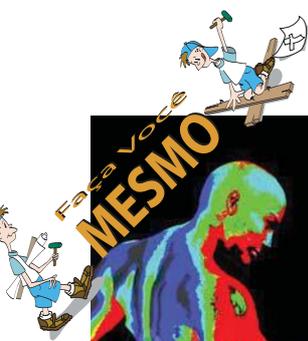


Equipe OIbF: da direita para esquerda, Deric de Albuquerque Simão (Medalha de Prata), Leonardo Mendes V. Almeida, George Gondim Ribeiro e Mariana Quezado Costa Lima (Medalhas de Ouro).



### Maiores informações:

<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/>



## Como o corpo humano mantém sua temperatura durante a atividade física

O ser humano é homeotérmico, isto é, possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoavelmente estreita (em torno de 36,5 °C)<sup>1</sup>, apesar das variações térmicas do ambiente. O equilíbrio térmico é conseguido através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor.

Parte da energia liberada pelo funcionamento normal dos órgãos internos e pelos músculos durante a atividade física é energia térmica (calor). Uma pessoa em repouso libera a cada segundo uma quantidade de calor correspondente a cerca de 90 joules. Ao se praticar exercício, a velocidade de produção de calor pelo músculo aumenta em função da intensidade do exercício, que transitoriamente é maior que a velocidade de dissipação de calor do músculo. O primeiro meio utilizado para remover o calor dos músculos durante o exercício é a sua transferência (por condução) para o sangue. A velocidade de transferência do calor é proporcional ao produto do fluxo sanguíneo local e à diferença de temperatura entre o músculo e o sangue arterial. Desta maneira, grande parte do calor produzido pelos músculos trabalhados é transferida para o resto do organismo pela circulação. Quando isso ocorre, a temperatura interna como um todo começa a se elevar, desencadeando reflexos fisiológicos que promovem um aumento da transferência do calor interno para a pele e desta para o meio ambiente. Estes reflexos servem para diminuir e eventualmente cessar o aumento da temperatura do organismo, pois seu aquecimento excessivo durante o exercício reduz a eficiência do sistema circulatório,

**O ser humano é homeotérmico (possui a capacidade de manter a temperatura corporal dentro de uma faixa razoavelmente estreita, apesar das variações térmicas do ambiente). O equilíbrio térmico é conseguido através do balanço entre a perda e a produção ou aquisição de calor**

limitando a capacidade do coração de liberar sangue oxigenado na velocidade necessária para a pele e para os músculos. Portanto os mecanismos de transferência de calor para o ambiente são fundamentais para a fisiologia humana.

Estando o ambiente externo a uma temperatura mais baixa que a temperatura corporal, há três mecanismos básicos pelos quais se dá a perda de calor para o ambiente: condução, irradiação e, caso a temperatura da pele atinja 37,0 °C, disparando os mecanismos de controle homeostático do hipotálamo, a transpiração [1].

### Condução

A transferência de calor por condução ocorre na medida em que o corpo, a uma temperatura maior do que a ambiente, transfere energia através da pele e aquece o ar a sua volta. Nesse caso a transferência se dá molécula a molécula, e portanto depende não apenas da área exposta ao ar mas também dos tipos de moléculas e das formas pelas quais elas estão ligadas e interagem entre si. Esta dependência está expressa pela constante de proporcionalidade  $k$  (condutividade térmica do material) na equação básica da condução

$$\frac{Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_{\text{corpo}} - T_{\text{ar}})}{d}$$

onde o fluxo de calor transferido por condução (à esquerda) é proporcional à área exposta e ao gradiente de temperatura, no caso entre a pele e o ar ambiente [2]. A distância  $d$  representa portanto a distância (no ar) ao longo da qual a temperatura cai da temperatura da pele para a temperatura ambiente. Assumindo uma estima-

.....  
**Fernanda Luz, Marina Azevedo e Raíza Oliveira**

Alunas da 3ª série do ensino médio do Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Roberto Pimentel**

Professor de física do Colégio de Aplicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro (CAp-UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: beto@if.ufrj.br  
.....

O corpo humano troca calor com o ambiente através de três processos básicos: condução, irradiação e transpiração. Este último processo constitui a ferramenta básica do organismo para a manutenção de uma temperatura corporal aproximadamente constante. Ele é disparado não apenas quando a temperatura externa é maior do que a temperatura corporal, mas também quando o calor gerado internamente devido à realização de atividades físicas demanda um aumento da taxa com que o corpo perde calor para o ambiente. Monitorou-se não só o aumento da temperatura corporal com a intensidade da atividade física realizada por uma pessoa, mas também a relação entre a frequência cardíaca e a temperatura, destacando uma defasagem que ocorre entre a diminuição da primeira e da segunda à medida em que a intensidade da atividade física é reduzida. Para realizar as medições, usou-se um termômetro eletrônico construído e calibrado pelas autoras dentro do curso de física da 2ª série do ensino médio.

tiva de 5 cm para esta distância, considerando 2 m<sup>2</sup> como a área exposta do corpo de uma pessoa média e tomando o valor da condutividade térmica do ar ( $k_{\text{ar}} = 5,7 \times 10^{-5} \text{ cal}/(\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C})$ ), obtemos uma perda de calor por condução de aproximadamente 10,5 W para uma pessoa exposta ao ar em repouso a 23,0 °C [3].

### Irradiação

Todo corpo irradia (e absorve) energia na forma de ondas eletromagnéticas. O fluxo de calor irradiado por um corpo pode ser calculado pela lei de Stefan-Boltzmann

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \epsilon A T^4,$$

onde  $T$  é a temperatura do corpo em kelvins e  $A$  sua área em m<sup>2</sup>.  $\sigma$  é uma constante universal, a constante de Stefan-Boltzmann, e vale  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$ .  $\epsilon$  é a emitância do material considerado. Para o corpo humano podemos considerar  $\epsilon = 0,97$ .

Entretanto, o corpo não apenas emite calor na forma de radiação eletromagnética como também a absorve do meio externo. A perda "líquida" de calor depende então da temperatura do ar ambiente. Podemos ajustar a lei de Stefan-Boltzmann para levar em consideração a radiação absorvida da seguinte forma

$$\frac{Q}{\Delta t} = \sigma \epsilon A (T_{\text{corpo}}^4 - T_{\text{ar}}^4).$$

Assim podemos calcular que a mesma pessoa, na mesma condição ambiente do cálculo anterior, também estará perdendo 133 W "líquidos" por irradiação. A perda por irradiação, pelo menos neste caso, é portanto muito mais relevante que a perda por condução.

### Transpiração

Quando não estamos fazendo exercício físico, se a temperatura ambiente subir acima da temperatura corporal, boa parte da umidade da pele evapora (no mínimo 600 g por dia), "roubando" cerca de 17 W do corpo. Em casos extremos é possível perder até 1,5 litro por hora, levando a perda de calor em uma taxa de quase 2,4 kW! Isso mostra o quão importante (e eficiente) é o processo da transpiração na regulação da temperatura do corpo.

Mesmo no caso mais comum da temperatura ambiente estar abaixo da temperatura corporal, a atividade física intensa pode chegar a um ponto em que as perdas por condução e irradiação não são suficientes para dar vazão à produção interna de calor do corpo. Quando a pele atinge uma temperatura de cerca de 37,0 °C, co-

meçamos a suar. A transpiração é um importante mecanismo de controle da temperatura do corpo<sup>2</sup>. Ela faz uso do alto calor de vaporização da água (580 cal/g a 37°C)<sup>3</sup> para retirar quantidades apreciáveis de calor do corpo.

### Medição da temperatura corporal durante exercícios físicos

No laboratório de informática do CAP-UFRJ, a uma temperatura ambiente controlada de aproximadamente 23 °C e ar relativamente seco (ar-condicionado), as autoras fizeram uma série de exercícios, de intensidade crescente: 10 min em repouso sentadas (A), 2 min andando rápido (B), 2 min trotando (C), 3 min fazendo deslocamentos laterais (D), e 3 min subindo e descendo de uma cadeira (E). Ao final da série, passavam 5 min andando devagar (F), diminuindo o ritmo, até retornar finalmente ao repouso por mais 5 min (G).

Ao longo dos exercícios, mediu-se a temperatura com o termômetro digital preso a uma das axilas. Os batimentos cardíacos foram medidos simultaneamente através de um freqüencímetro comercial (aparelho utilizado para monitorar a freqüência cardíaca), posto na altura do peito, local onde se consegue sentir bem as pulsações do coração. Junto com esse aparelho vem um relógio digital próprio, que nos mostra a freqüência dos batimentos.

O termômetro digital construído pelo grupo foi conectado a um computador através da porta de jogos (DB-15) e mediu-se a resistência com o auxílio de

um programa específico.<sup>4</sup> Com o computador, a resistência do sensor (termistor)<sup>5</sup> pôde ser medida praticamente a cada instante. Esta resistência pode ser convertida em valores de temperatura porque conhecemos a relação entre as duas grandezas para o termistor

$$R(T) = ae^{\frac{b}{T}},$$

em que as constantes  $a$  e  $b$  são próprias de cada termistor e podem ser determinadas experimentalmente (calibração)<sup>6</sup>. A função inversa

$$T(R) = \frac{b}{\ln \frac{R}{a}}$$

nos dá a temperatura em função dos valores de resistência lidos [4]. Os gráficos a seguir mostram os resultados obtidos.

A temperatura começa estável<sup>7</sup> e aumenta progressivamente à medida que a atividade física vai ficando mais intensa

(Fig. 1). A fase E, que corresponde à atividade física mais intensa (subindo e descendo rapidamente de uma cadeira) corresponde à temperatura mais alta alcançada, em torno de 37,5 °C. Note que, devido à transpiração, a temperatura se estabiliza neste patamar mesmo com a continuação do exercício.

**Quando não estamos fazendo exercício físico, se a temperatura ambiente subir acima da temperatura corporal, a transpiração faz com que boa parte da umidade da pele evapore (no mínimo 600 g por dia), "roubando" cerca de 17 W do corpo. Em casos extremos é possível perder até 1,5 litro por hora, levando a perda de calor a uma taxa de quase 2,4 kW!**

O monitoramento da freqüência cardíaca no mesmo período mostra uma repetição do comportamento observado para a temperatura (Fig. 2), com algumas pequenas diferenças. No começo quase não há variação na freqüência cardíaca, mas a partir dos 10 min (fase B), quando a pessoa começa a andar rapidamente, os batimentos sobem bastante. Nos últimos

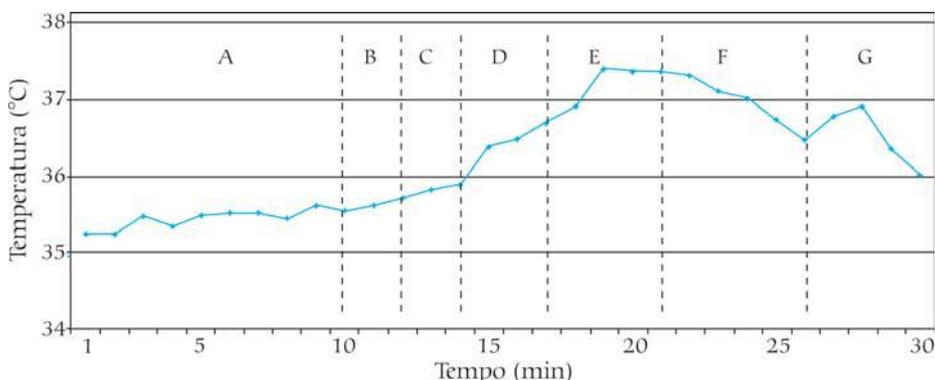


Figura 1 – variação da temperatura corporal (axila) ao longo da série de exercícios realizada.

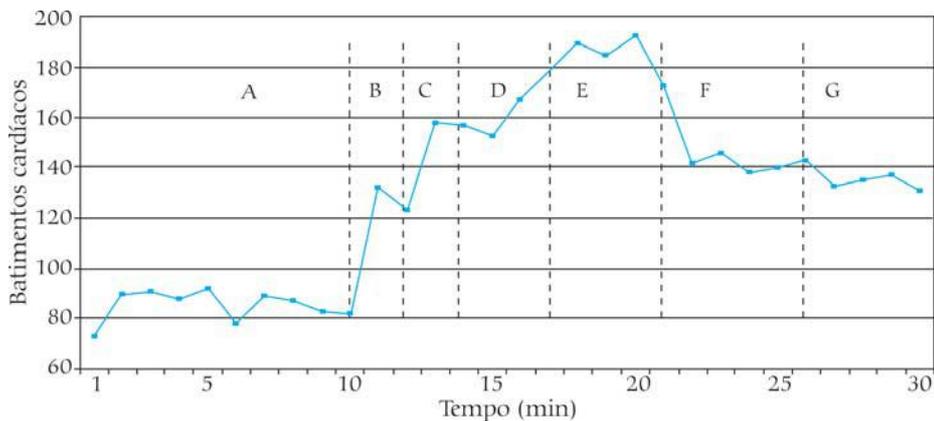


Figura 2 – Variação da frequência cardíaca (em batimentos por minuto) ao longo da série de exercícios realizada.

10 min os batimentos caíram brusca-mente logo que os exercícios encerraram-se, mas depois foram se estabilizando.

Está bem nítida a correlação entre temperatura e frequência cardíaca. Quando os batimentos estão baixos (entre 80 e 100 batimentos por minuto) a temperatura não varia nem um grau Celsius, pois quase não há uma variação da frequência. Já quando há um aumento grande da frequência a temperatura também fica muito mais alta. É interessante perceber que a temperatura não cai tão rapidamente quanto a frequência cardíaca ao final da série de exercícios: quando a frequência abaixou para cerca de 130 ou 140 batimentos por minuto (fase F) a temperatura ainda se manteve alta por algum tempo antes de começar a baixar – em torno de 37,0 °C. Isso significa que a temperatura não “retorna” pelo mesmo caminho à medida que diminuimos a intensidade do exercício, apresentando portanto um efeito de histerese. Por exemplo, em duas situações diferentes (fases B e F), a frequência é de aproximadamente 140 batimentos por minuto, mas com mais de 1,0 °C de diferença entre uma situação e outra.

### Conclusão

Se a pessoa estiver com um Índice de Massa Corporal (IMC)<sup>8</sup> normal, isto é, entre 18,5 e 25 kg/m<sup>2</sup>, seu peso e sua altura não fazem muita diferença na evolução da temperatura. Caso ela esteja fora desta faixa, no entanto, a sua relação superfície-volume provavelmente causará uma diferença. Porém, o que provavelmente mais influencia o perfil da evolução da temperatura e principalmente dos batimentos cardíacos são os hábitos de cada um: no caso de uma pessoa sedentária, o coração vai ter que bombear o sangue a uma velocidade maior do que se ela praticasse alguma atividade, pois ela já estaria acostumada aos exercícios e assim os batimentos não aumentariam tanto [5]. Além disso, no caso da pessoa sedentária, os batimentos cardíacos

**O que provavelmente mais influencia o perfil da evolução da temperatura e dos batimentos cardíacos de quem faz exercícios são os hábitos de cada um. No caso de uma pessoa sedentária, o coração vai ter que bombear o sangue a uma velocidade maior do que se ela praticasse alguma atividade, pois ela já estaria acostumada aos exercícios e assim os batimentos não aumentariam tanto**

demorariam mais tempo para diminuir e voltar ao normal. A influência de ambos os fatores (IMC e sedentarismo) pode ser estudada pelo método apresentado, o que constitui uma perspectiva de continuação do trabalho.

O trabalho de finalização do curso de física da segunda série do ensino médio do CAP-UFRJ de 2006 envolveu a elaboração de um projeto original baseado no uso de um termômetro digital construído e calibrado previamente pelas alunas como trabalho de grupo do bimestre anterior. A proposta realizada consistiu em estudar os processos pelos quais o corpo troca calor com o meio ambiente e relacionar a variação da temperatura corporal com a frequência cardíaca em diferentes situações: em repouso e praticando exercícios físicos de diferentes intensidades.

Além do caráter transdisciplinar do projeto, que envolveu a articulação de conhecimentos de física do calor com os conteúdos desenvolvidos no curso de matemática sobre as funções exponenciais e logarítmicas e os tópicos de saúde e fisiologia abordados no

curso de educação física, a proposta de trabalho de grupo é relevante no contexto do ensino de física por três outros motivos. O primeiro diz respeito ao caráter experimental do projeto, que supre a deficiência de um espaço específico para esse tipo de pesquisa (laboratório). O segundo reme-

te à importância de relacionar elementos da tecnologia e do dia-a-dia dos alunos (computadores, softwares, eletrônica, termologia, fisiologia e atividades físicas) entre si e com os conteúdos desenvolvidos nas disciplinas escolares. Por último, a proposta relativamente aberta constitui uma atividade de natureza criativa e de caráter cooperativo. O trabalho em grupo pode ser desenvolvido fora do horário de aula, em casa ou na escola, atingindo os interesses de cada grupo de alunos [6].

### Agradecimentos

Agradecemos a Ananias Neto e João Faria, alunos do CAP-UFRJ, bem como ao licenciando em física Bernardo Medina. O professor de educação física do CAP-UFRJ, Marcos Pimentel, criou a série de exercícios. Agradecemos ainda ao professor de biologia Igor França, do CAP-UFRJ, pelas dicas de fisiologia, e, finalmente, ao professor Carlos Eduardo Aguiar, do Instituto

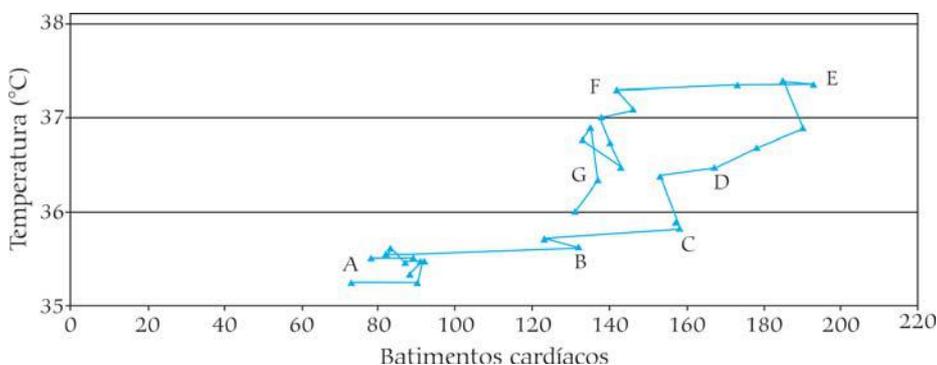


Figura 3 – Correlação entre frequência cardíaca (em batimentos por minuto) e temperatura corporal ao longo da série de exercícios realizada.

de Física da UFRJ, pelas sugestões relativas ao texto.

### Notas

<sup>1</sup>A temperatura da pele é, no entanto, cerca de dois a três graus mais baixa, em geral.

<sup>2</sup>Parte do calor é perdido através da umidade do ar exalado na respiração.

<sup>3</sup>O calor latente de vaporização da água é 540 cal/g no ponto de ebulição, mas a temperaturas mais baixas ele é significativamente maior, dado que as energias de ligação entre as moléculas de água são maiores a temperaturas mais baixas.

<sup>4</sup>O programa utilizado foi o AqDados 2.0 desenvolvido por Ives Solano Araujo (UFRGS) e disponível pela internet em

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/software/Aqdados20.zip>.

<sup>5</sup>Elemento de circuito cuja resistência elétrica varia fortemente com a temperatura.

<sup>6</sup>Isto já havia sido feito previamente. Para tanto basta tomar duas temperaturas dentro da faixa de operação do termistor e montar um sistema de equações em que as únicas variáveis são  $a$  e  $b$ .

<sup>7</sup>A incerteza da calibração é da ordem de 2 °C, portanto o valor em torno de 35,3 °C não deve ser estranhado.

<sup>8</sup>O IMC é um parâmetro fisiológico de uso rotineiro, e é calculado como a razão entre a massa em quilogramas e o quadrado da altura, em metros, de uma pessoa [7].

### Referências

- [1] E. Okuno, I.L. Cadas e C. Chow, *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas* (Editora Harbra, São Paulo, 1982), cap. 11.
- [2] L.A. Guimarães e M. Fonte Boa, *Física para o Ensino Médio, Termologia e Óptica* (Editora Galera HiperMídia, Niterói, 2006).
- [3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/coobod.html#c1> (Hyper Physics).
- [4] <http://omnis.if.ufrj.br/~carlos/cap/capjoystick.html>.
- [5] <http://www.gssiweb.com/> (Gatorade Sports Science Institute).
- [6] B. Medina, *Termometria Através do Computador; Projeto de Instrumentação Para o Ensino (trabalho final de licenciatura)* (IF, UFRJ, 2006).
- [7] <http://www.copacabanarunners.net/imc.html>.

## É ouro! Brasil campeão da XIII Olimpíada Ibero-Americana de Física

No dia 4 de outubro voltou do México a equipe brasileira da Olimpíada Brasileira de Física (OBF) que participou da XIII Olimpíada Ibero-americana de Física (OIbF). A XIII OIbF ocorreu de 28 de setembro a 3 de outubro, em Morélia, no México, com a participação de 68 estudantes de 19 países. Nossa equipe, selecionada e preparada pela Olimpíada Brasileira de Física, foi formada pelos estudantes Mariana Quezado Costa Lima, George Gondim Ribeiro, Leonardo Mendes Valério Almeida e Deric de Albuquerque Simão e conquistou três medalhas de ouro e uma de prata. A delegação brasileira foi acompanhada pelo Prof. Carlito Lariucci, do Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás. Além das medalhas, a Equipe Brasileira obteve a melhor nota nas provas experimental e teórica, e a primeira posição na classificação geral.

O resultado obtido na XIII OIbF é fruto do trabalho que a Sociedade Brasileira de

Física (SBF) vem realizando por meio da Olimpíada Brasileira de Física, através da Comissão Nacional e das Coordenações Estaduais, com o apoio do CNPq. Foi na edição da OBF 2006 que esses estudantes começaram sua maratona de estudos. Desde então, eles receberam orientação de seus professores, dos coordenadores estaduais da OBF, além de terem feito diversas provas seletivas sob a orientação da Comissão de Preparação. Antes da viagem ao México eles ainda passaram por um treinamento intensivo no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, em São Carlos, sob a Coordenação do Prof. Euclides Marega Júnior, da Comissão de Preparação.

Nossos parabéns à delegação, aos Colégios e Professores que apoiam a Olimpíada Brasileira de Física e dela participam, e a toda a equipe – Coordenadores Estaduais, Secretaria da OBF – que fez o acompanhamento e preparação dos estudantes.

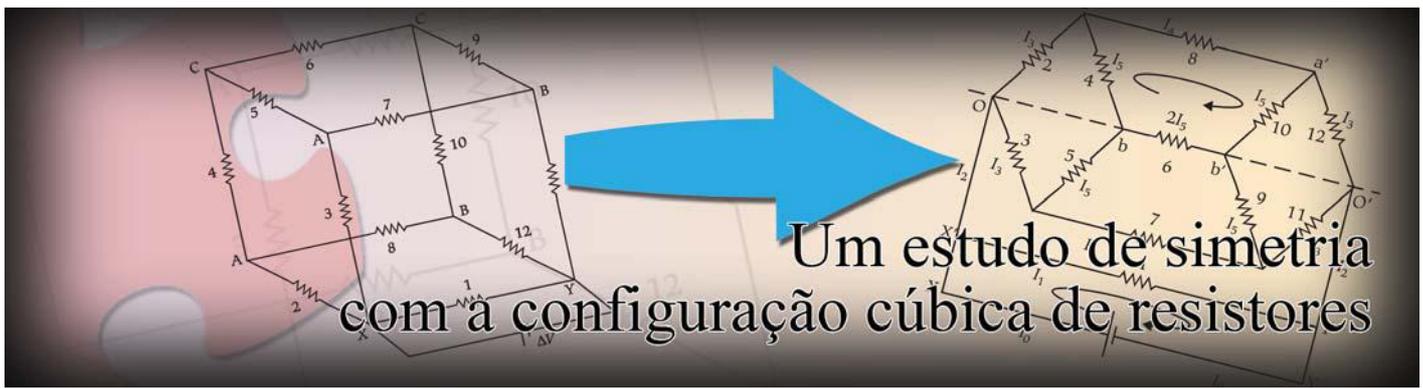


Equipe OIbF: da direita para esquerda, Deric de Albuquerque Simão (Medalha de Prata), Leonardo Mendes V. Almeida, George Gondim Ribeiro e Mariana Quezado Costa Lima (Medalhas de Ouro).



### Maiores informações:

<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/>



**E**xplorar conceitos de simetria é sempre uma tarefa incomum, embora ela esteja presente em muitas situações de interesse, criando padrões que nos auxiliam no conceito de organização. Já a partir do nível básico de formação, essa ferramenta muitas vezes vem a desempenhar papel importante na solução de problemas o que a torna indispensável no desenvolvimento de aprendizados. Isso está em conformidade com os estudos sobre aprendizagem que têm costumeiramente expressado a necessidade da introdução de simetrias e suas propriedades como uma parte da grade curricular básica. Dessa forma, estar apto a identificar linhas de simetria, congruências e formas similares é um desafio que campos da mente humana tendem a incorporar, e visando esse propósito, apresentamos a aplicação da solu-

ção de um problema simples: encontrar as resistências equivalentes entre resistores iguais em arranjos de configurações cúbicas (3D) e os mesmos circuitos expostos em arranjos em formas planas (2D), explorando as situações simétricas entre as geometrias e verificando suas validades.

### Procedimentos

#### Arranjo hexagonal

Para resolvermos o problema envolvendo resistores conectados em uma geometria cúbica deve-se explorar a simetria do problema, e para isso o melhor a fazer é estudar um caso um pouco mais simples, o bidimensional, e depois sim passarmos para o caso tridimensional.

Seja então o caso de resistores iguais conectados na geometria como mostrado na Fig. 1.

.....  
**A.J. Mania**  
 Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil  
 E-mail: mania@uesc.br

.....  
**E. Mania**  
 Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil  
 .....

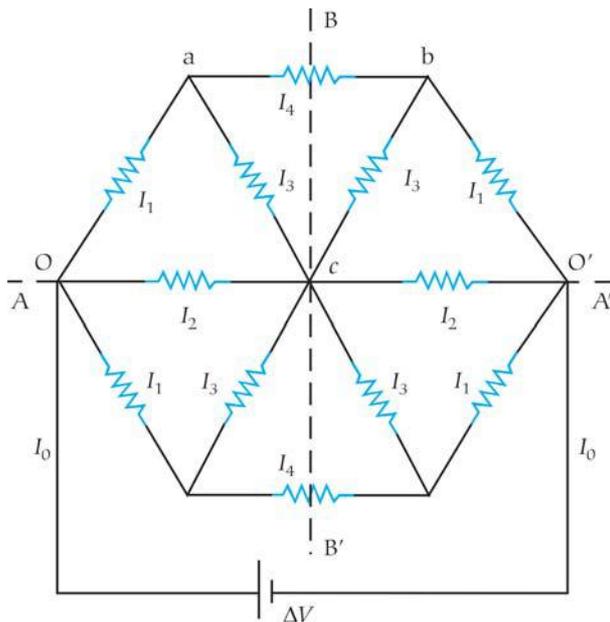


Figura1 - Arranjo hexagonal plano.

Neste trabalho propomos o estudo de um arranjo tridimensional de resistências elétricas para explorar o uso da simetria como ferramenta de resolução de problemas. Dessa forma, medindo-se a resistência equivalente em três casos distintos, fazemos a comparação com um circuito bidimensional equivalente, conseguido via análise da simetria distinta em cada caso.

O problema tem simetria quadrada, conforme pode-se ver pelas linhas tracejadas AA' e BB'. Então tudo que passa em um quadrante é válido para os demais. Assim, temos para o quadrante superior à esquerda, usando a lei das junções,

$$I_0 = 2I_1 + I_2, \quad (1)$$

e

$$I_1 = I_3 + I_4. \quad (2)$$

Usando agora a lei das malhas para o anel acba, obtém-se

$$R(I_4 - I_3 - I_3) = 0. \quad (3)$$

Também, usando a mesma lei para o anel OcbaO, temos que

$$R(-I_2 - I_3 + I_4 + I_1) = 0. \quad (4)$$

Assim, temos quatro equações e quatro incógnitas (que são as quatro correntes).

Dessas equações, tira-se que  $I_1 = 3I_3$ , e  $I_2 = 4I_3$ .

Usando a primeira equação das correntes, obtemos

$$I_3 = \frac{1}{10}I_0; \quad I_1 = \frac{3}{10}I_0; \quad I_4 = \frac{2}{10}I_0; \quad (5)$$

Precisamos agora de uma equação que envolva a tensão elétrica  $\Delta V$  e a corrente  $I_0$ , sendo a constante de proporcionalidade a resistência equivalente  $R_{eq}$ . Fazendo uma circulação pelo anel OabO' (passando pelo gerador), obtém-se facilmente  $\Delta V - R(I_1 + I_4 + I_1) = 0$ . Portanto,

$$R_{eq} = \frac{4}{5}R. \quad (6)$$

### Arranjo cúbico com voltagem nos vértices da face

Seja então uma associação de resistores na forma cúbica, com os resistores conectados ao longo de suas arestas. É desejado encontrar a resistência equivalente desta associação quando uma diferença de potencial (ddp)  $\Delta V$  é aplicada nas extremidades do circuito, conforme mostrado na Fig. 2a.

Deve ser notado que pela simetria do problema existem pontos da ligação que estão no mesmo potencial. Estes pontos estão assinalados pelas letras A, B e C. Assim, os pontos A estão a um certo potencial  $V_A$ , os pontos B a um certo potencial  $V_B$ , e os pontos C a um certo potencial  $V_C$ , sendo que estes valores podem diferir entre si. Essa associação pode ser melhor

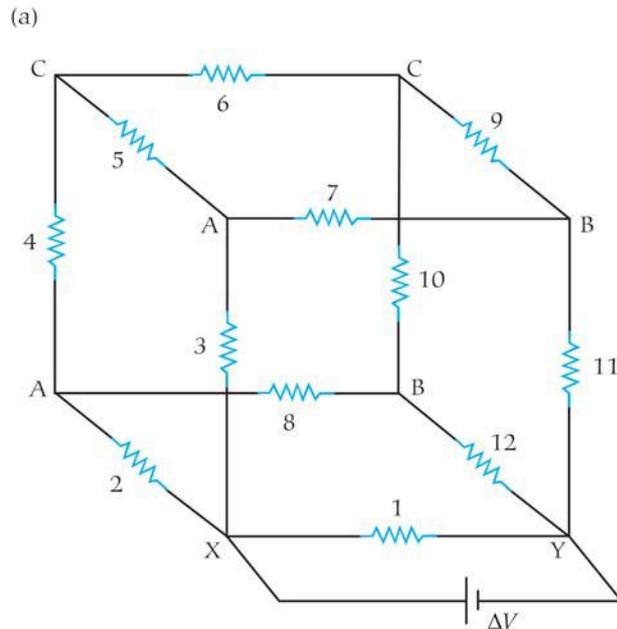


Figura 2a - Arranjo cúbico com a voltagem aplicada nas extremidades de uma face.

trabalhada se a esquematizarmos na forma alternativa mostrada na Fig. 2b. Assim, podemos explorar a simetria da parte superior das conexões mostradas pela linha tracejada OO'. Pela lei das junções, temos que no ponto Y'

$$I_0 = I_1 + I_2, \quad (7)$$

no ponto O,

$$I_2 = 2I_3, \quad (8)$$

e, no ponto a,

$$I_3 = I_4 + I_5. \quad (9)$$

Pela lei das malhas, fazendo a circulação no anel XOaa'O'YX, obtemos

$$\Delta V = R(2I_3 + I_4). \quad (10)$$

Fazendo a circulação no anel aa'b'ba,  $-R(I_4 - I_5 - 2I_5 - I_5) = 0$ , fornecendo

$$I_4 = 4I_5. \quad (11)$$

Da terceira equação das junções, tiramos que  $I_3 = (5/4)I_4$ , e, da primeira equação das circulações,  $\Delta V = (14/5)RI_3$ .

Usando a segunda equação das junções, tem-se  $\Delta V = (7/5)RI_2$ . Precisamos agora de uma equação que forneça  $\Delta V$  em função de  $I_0$  para termos a resistência equivalente. Fazendo a circulação XX'Y'YX, temos que

$$\Delta V - RI_1 = 0 \rightarrow \Delta V = RI_1, \quad (12)$$

e comparando estas duas últimas equações para  $\Delta V$ , tem-se que  $I_1 = (7/5)I_2$ . Usando a primeira equação das jun-

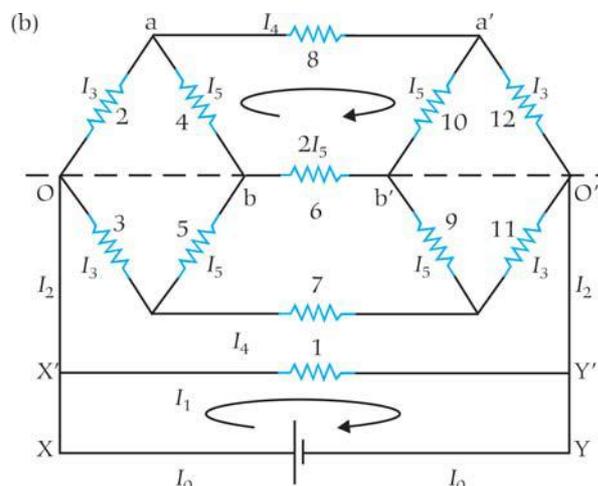


Figura 2b - Arranjo bidimensional equivalente ao circuito anterior tridimensional.

ções,

$$I_2 = \frac{5}{12} I_0 \quad (13)$$

tem-se, portanto, que

$$\Delta V = \frac{7}{12} R I_0 \rightarrow R_{eq} = \frac{7}{12} R. \quad (14)$$

### Arranjo cúbico com voltagem na diagonal da face

Seja agora a ddp aplicada nas extremidades do circuito, conforme mostrado na Fig. 3a.

Novamente, deve ser notado que pela simetria do problema existem pontos da ligação que estão no mesmo potencial. Estes pontos estão assinalados pelas letras A, B, C e D. Assim, os pontos A estão a um certo potencial  $V_A$ , os pontos B a um certo potencial  $V_B$ , os pontos C a um certo potencial  $V_C$  e os pontos D a um certo potencial  $V_D$  e estes valores podem ser iguais ou diferir entre si. Essa associação pode ser melhor trabalhada se a esquematizarmos na forma alternativa, conforme mostrada na Fig. 3b.

Dessa forma, podemos explorar a simetria das conexões mostradas pela linha tracejada  $OO'$  e  $AA'$ . Temos, por este esquema, e aplicando a lei das junções nos pontos b e c, respectivamente que

$$I_1 = I_4; \quad I_5 = I_6, \quad (15)$$

e

$$I_2 = 2I_5; \quad I_3 = 0; \quad I_0 = 2I_1 + I_2. \quad (16)$$

Pela lei das malhas, fazendo a circuição no anel XabcdX, obtém-se

$$-R(I_1 + I_3 - I_5 - I_2) = 0 \quad (I_3 = 0). \quad (17)$$

Substituindo  $I_5 = (1/2)I_2$ , tira-se  $I_1 = (3/2)I_2$ . Usando  $I_0 = 2I_1 + I_2$ , tem-se  $I_0 = (8/3)I_1$ , ou, ainda,  $I_1 = (3/8)I_0$ . Substituindo esta última na equação para  $\Delta V$ , tem-se uma equação que relaciona a ddp e a corrente  $I_0$ . A constante de proporcionalidade é a resistência equivalente procurada. Portanto,

$$\Delta V = \frac{3}{4} R I_0 \rightarrow R_{eq} = \frac{3}{4} R. \quad (18)$$

### Arranjo cúbico com voltagem na diagonal

Seja, por fim, a aplicação da ddp aplicada nas extremidades do circuito, conforme mostrado na Fig. 4a. Mais uma vez deve ser notado que pela simetria do problema existem pontos da ligação que estão

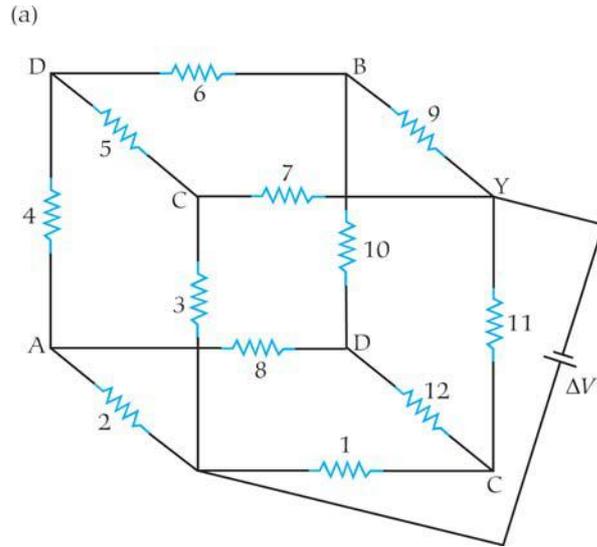


Figura 3a - Arranjo cúbico com a voltagem aplicada nas extremidades da diagonal de uma das faces.

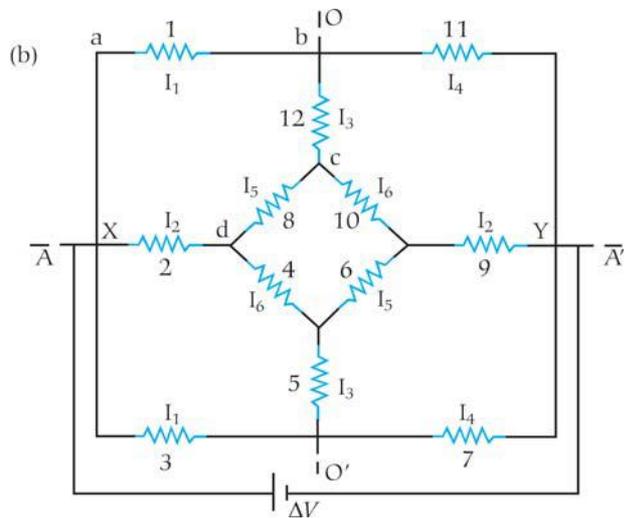


Figura 3b - Arranjo bidimensional equivalente ao circuito anterior tridimensional.

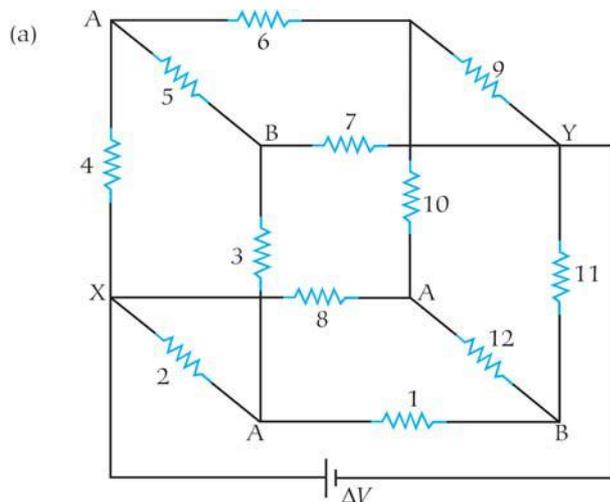


Figura 4a - Arranjo cúbico com a voltagem aplicada nas extremidades de sua diagonal.

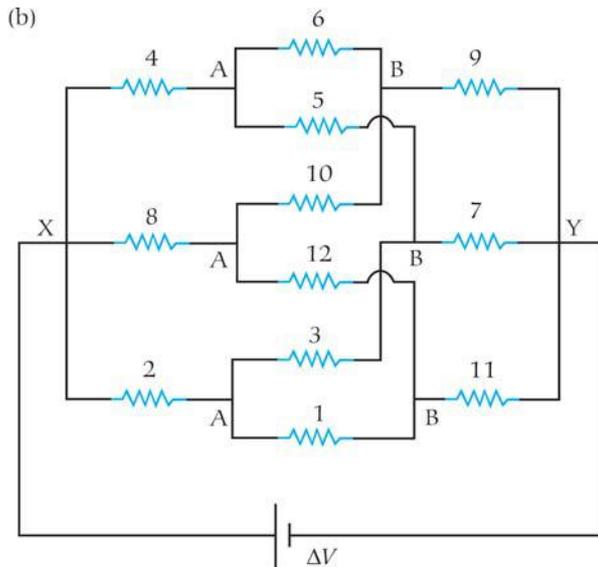


Figura 4b - Arranjo bidimensional equivalente ao circuito anterior tridimensional.

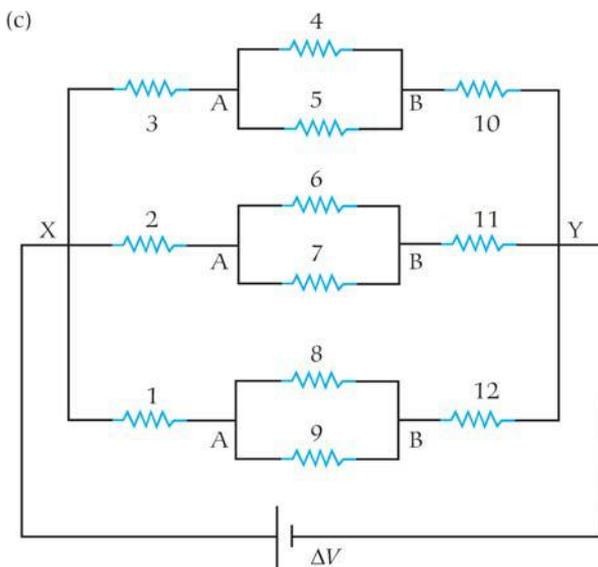


Figura 4c - Arranjo equivalente ao circuito anterior explorando o fato das resistências terem o mesmo valor.

no mesmo potencial. Estes pontos estão assinalados pelas letras A e B. Assim, os pontos A estão a um certo potencial  $V_A$  e os pontos B, embora possuam o mesmo potencial  $V_B$ , podem diferir de  $V_A$ . Essa associação pode ser melhor trabalhada se a esquematizarmos em uma forma alternativa, primeiramente como mostrada na Fig. 4b, e, explorando o fato específico de que todas as resistências têm o mesmo valor, podemos deixar a configuração conforme mostrada na Fig. 4c.

Assim, podemos explorar a simetria das conexões e sem dificuldades encontrar a resistência equivalente para este caso,

$$R_{eq} = \frac{5}{6} R. \quad (19)$$

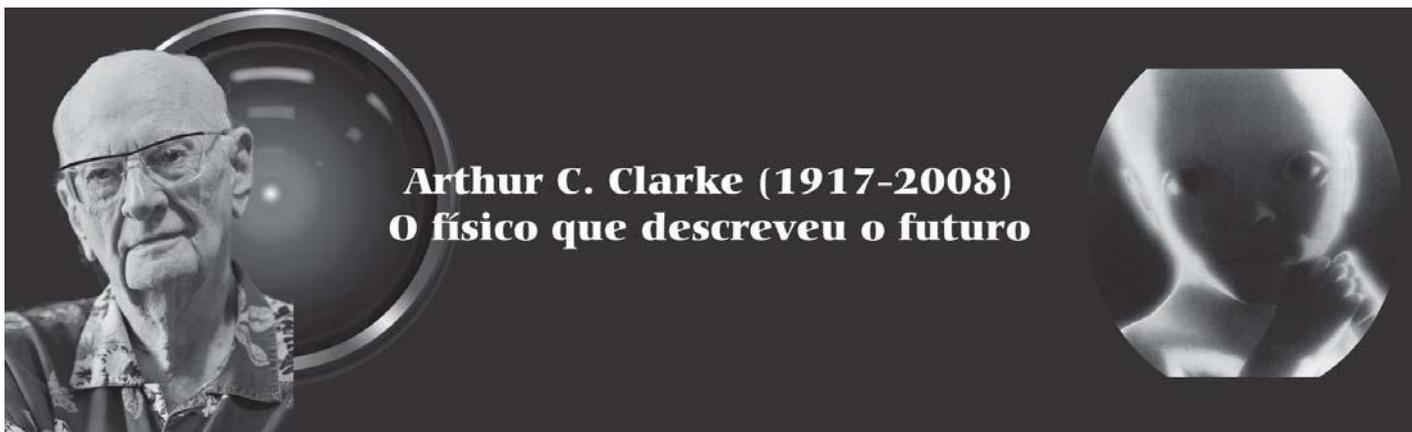
### Discussão

Deve ser notado que a configuração exibida na Fig. 4c é essencial para facilitar o cálculo da resistência equivalente, e só é

possível de ser obtida devido ao fato dos potenciais  $V_A$  e  $V_B$ , nas junções A e B, respectivamente (mostradas com a nomenclatura para comparação com as junções da Fig. 4a), terem os mesmos valores (resistências iguais). Em outras situações, onde os valores das resistências sejam diferentes, não haverá simetria (potenciais nas junções não devem se manter constantes), não permitindo um rearranjo e a situação será de difícil resolução analítica. Cabe salientar também que é uma tarefa fácil e de baixo custo montar os circuitos elétricos, conforme exibidos nas figuras anteriores, onde o valor da resistência deve ser avaliada de acordo com o código de identificação de cores padronizadas. Isso feito, busca-se, por meio dessas atividades, permitir que o estudante do ensino médio tenha um exemplo de como a simetria ocorre e visualize e entenda a aplicação desta ferramenta na solução de problemas que eventualmente aparentam ser de difícil tratamento. Propomos então ao professor que submeta aos estudantes os arranjos de resistências em 3D e por intermédio de sugestões, que os alunos venham a explorar as simetrias do problema, montando assim os circuitos em 2D equivalentes, tornando sua resolução mais fácil.

### Saiba mais

- M.H. Nussenzweig, *Física Básica*. (Edgard Blucher, São Paulo, 1981), v. 2.
- S. Zbar, *Basic Electricity: A Text-Lab Manual* (McGraw-Hill, Nova York, 1997), 6ª ed.
- D. Giancoli, *Physics* (Prentice Hall, New Jersey, 1998), 5ª ed.
- R. Preston, *Experiments in Physics - A Laboratory Manual* (John Wiley, Nova York, 1985).
- M. Alonso e E.J. Finn, *Física* (Edgard Blucher, São Paulo, 1992), v. 2.
- P. Fishbane, *Physics for Scientists and Engineers* (Prentice Hall, New Jersey, 1996), 2ª ed.
- W. Beuche, *College Physics* (McGraw-Hill, Nova York, 1998).



## Arthur C. Clarke (1917-2008) O físico que descreveu o futuro

No mês de março de 2008, a ficção científica perdeu um dos seus maiores escritores: Arthur Charles Clarke (16/12/1917-19/3/2008). Clarke consagrou-se como escritor e divulgador da ciência, principalmente no ramo que abraçou em seu curso universitário: a física. Desde a infância, mostrou inclinação para a astronomia: um de seus passatempos era desenhar mapas da Lua a partir da observação proporcionada por um telescópio caseiro que ele mesmo havia construído. Durante a Segunda Grande Guerra trabalhou no corpo de especialistas do sistema de radares britânico, equipamento que foi a peça chave para a vitória da Força Aérea Real contra a temida Luftwaffe. Ainda durante a guerra, em janeiro de 1945, publicou na revista *Wireless World Magazine* uma "Carta ao Editor" intitulada *Peacetime Uses for V2*, onde propôs o estudo da ionosfera por meio do uso de foguetes. A subscrição da carta foi feita em nome da Sociedade Interplanetária Britânica da qual Clarke era membro (seria presidente entre 1947-1950), e à qual não passara em branco o fato dos foguetes nazistas alcançarem essa camada da atmosfera em sua trajetória. Logo depois, em dezembro, publicou na mesma revista o trabalho *Extra-Terrestrial Relays - Can Rocket Stations Give Worldwide Radio Coverage?*, onde apresentou a proposta do satélite geoestacionário (o conceito em si é mais antigo, da autoria de Hermann Julius Oberth, e data de 1923). Baseada na tecnologia de seu tempo, o satélite de Clarke tinha o tamanho de uma casa de dois andares e incluía habitação para técnicos cuja função não era outra senão trocar as válvulas do equipamento à medida que elas queimassem... bem, o aparecimento do transistor, menos de dois anos depois, possibilitou a construção de um Sputnik, em 1957, com apenas 60 cm de diâmetro... De qualquer maneira, a órbita geoestacionária onde hoje trafegam

centenas de satélites também é conhecida como Órbita Clarke.

No pós-guerra, Clarke teve seu primeiro conto de ficção científica publicado em uma revista de renome; *Loophole* saiu na *Astounding Science Fiction* em 1946. Enquanto dava os primeiros passos na carreira de escritor, trabalhou por um breve período como editor assistente no *Science Abstracts*. Em 1951, decidiu tornar-se escritor em tempo integral. Participou de diversos programas de divulgação científica produzidos pela BBC, onde desenhava o futuro da humanidade por meio de suas idéias que englobavam ciência, tecnologia e sociedade. O sítio da emissora britânica (<http://news.bbc.co.uk/>) contém bom material sobre Clarke. Em seu livro *Perfis do Futuro: Um Inquérito Dentro dos Limites do Possível* (1962), cunhou a primeira de suas três leis que depois gerariam paródias, corolários... e outras leis. Enunciamos apenas as originais: 1) Quando um cientista distinto (renomado) e experiente (de mais idade) diz que algo é possível, ele está provavelmente certo. Quando ele diz que algo é impossível, ele está muito provavelmente errado. 2) O único caminho para desvendar os limites do possível é aventurar-se além dele, através do impossível. 3) Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível da mágica.

Na ficção científica Clarke brindou-nos com as idéias mais arrojadas de sua época. Sempre mesclando tecnologia, sociologia e uma pitada de misticismo (ou transcendência, se preferirem) aqui e ali, o resultado final é que *O Fim da Infância* é considerado por muitos como o melhor livro de toda a ficção científica; a versão cinematográfica de seu conto *A Sentinela* é visto pela crítica especializada como um

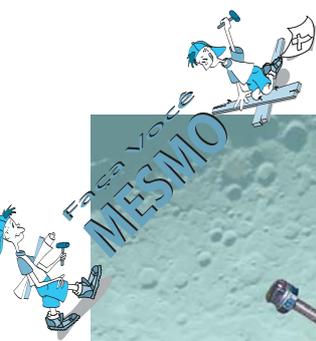
marco nas artes visuais (no cinema, chamou-se *2001, Uma Odisséia no Espaço*), e diversas outras obras de sua autoria lançaram idéias que, se não eram originais, ganharam o imaginário do grande público: o "bug do milênio" apareceu em um capítulo de seu livro *The Ghost from the Grand Banks* (1990); o conceito do elevador espacial faz parte da trama em *The Fountains of Paradise*, (1979) (embora a idéia original seja de 1895, da autoria de Konstantin Tsiolkovsky, seu resgate por Clarke colocou-a na pauta da NASA); o projeto *Space Guard*, proposto em *Rendezvous with Rama*, a despeito de ter sido raptado como tema de sofríveis filmes de ação envolvendo a colisão de um grande asteróide com nosso planeta, inspirou o *Spaceguard Survey*, também pela NASA, no

esforço de mapear os objetos próximos à Terra. A forma como Clarke aborda conceitos simples de física faz de *Encontro com Rama* é um bom moti-

vo para o professor de física do ensino médio promover um evento interdisciplinar com a literatura e, assim, contribuir para despertar, através da arte, uma janela para a ciência. Essa novela repleta de mistérios, onde o leitor desbrava uma espaçonave cilíndrica com 16 km de diâmetro e 50 km de comprimento, que contém um mundo completo em seu interior e a gravidade é proporcionada pelo giro do cilindro em seu eixo, seguramente despertará a paixão pela ciência em qualquer adolescente convenientemente encorajado pelo seu professor. Dentre vários, Clarke foi um dos grandes "culpados" pela minha obtenção do grau de bacharel em física. E seguramente continuará fazendo "estragos" semelhantes a tantos outros jovens incautos que se aventurarem pelas páginas de seu extenso legado.

Carlos A. Mores

**Cientistas acima dos cinquenta só  
servem para reuniões de diretoria  
e devem ser mantidos fora do  
laboratório a qualquer custo  
A.C. Clarke**



## Capturando imagens de microscópio e telescópio com uma câmera digital

Como registrar, com boa resolução e nitidez, imagens produzidas por instrumentos ópticos em geral, munidos de oculares, tais como microscópios, binóculos, telescópios? Talvez uma das primeiras coisas que nos venham à mente seja utilizar uma câmera digital. De fato, é bastante simples obter estas imagens, como será descrito a seguir. Inicialmente, serão recordados alguns princípios básicos da óptica do olho, da câmera digital, do telescópio e do microscópio. Em seguida, estes princípios serão empregados na obtenção de imagens por meio de uma câmera digital. Para tal, será descrita a confecção de um dispositivo que permita a adaptação da câmera à ocular de microscópios e telescópios. Algumas regulagens também serão discutidas à luz destes princípios básicos, tais como o ajuste da distância focal, a seleção do tempo de exposição e o controle da abertura do diafragma da câmera, nos casos em que o modo manual estiver disponível. Serão também apresentadas alternativas para aquelas câmeras nas quais não há a disponibilidade deste modo. Por fim, serão apresentados alguns resultados obtidos.

### Alguns princípios básicos de óptica geométrica

#### O olho

Na Fig. 1 A é apresentado o diagrama de raios de um objeto situado no infinito, cuja imagem real se forma no fundo do olho, onde se encontra a retina com seus elementos sensíveis à luz - os cones e bastonetes. Pelo fato de o objeto estar a uma distância grande quando comparada com a distância focal do sistema de lentes do olho (córnea e cristalino), os raios de luz que dele emanam são aproximadamente paralelos. Nesta situação o olho funciona "relaxado", quer dizer, o mecanismo biológico de focalização que altera a distância focal do cristalino não atua da forma que

atuaria se tivesse que focalizar uma imagem próxima, por exemplo, um livro a 30 cm de distância.<sup>1</sup> Para objetos distantes, o plano focal do conjunto córnea-cristalino coincide com a posição da retina, no fundo do olho.

#### A câmera fotográfica

Do ponto de vista da óptica, o princípio físico é muito parecido com o do olho (Fig. 1 B). Quando um objeto distante é focalizado pela câmera, a objetiva desta funciona como o conjunto córnea-cristalino, o qual por sua vez pode ser tomado como equivalente a uma lente convergente. Os raios (muito aproximadamente) paralelos que provêm de um objeto distante formarão uma imagem real nítida no plano focal desta lente convergente (na prática, as objetivas das câmeras são constituídas por um conjunto de lentes que atuam como se fossem uma única lente convergente de excelente qualidade, praticamente isenta de aberrações esféricas e cromáticas), onde se encontram os elementos sensíveis à luz. Trata-se de um dispositivo do tipo CMOS ou CCD,<sup>2</sup> que faz um papel de certo modo análogo ao dos cones e bastonetes do olho, ou ao filme fotográfico das câmeras mais antigas.

#### O telescópio

Na Fig. 2 é mostrado o diagrama de raios de um telescópio refrator, ou seja, um instrumento munido de uma lente de grande diâmetro e distância focal longa - a objetiva - e de uma segunda lente de distância focal menor, a ocular. Um telescópio refle-

tor, munido de um espelho parabólico, funciona segundo princípios muito semelhantes. Do ponto de vista deste trabalho, eles são equivalentes.

O detalhe essencial a ser retido aqui é o seguinte: os raios paralelos que atravessam a lente objetiva (ou que seriam refletidos por um espelho côncavo parabólico), também sairão paralelos da ocular. A "lente convergente" do olho (ou a objetiva da câmera fotográfica) fará com que esses raios paralelos converjam exatamente sobre o plano focal, no fundo do olho (ou no sensor de luz da câmera).

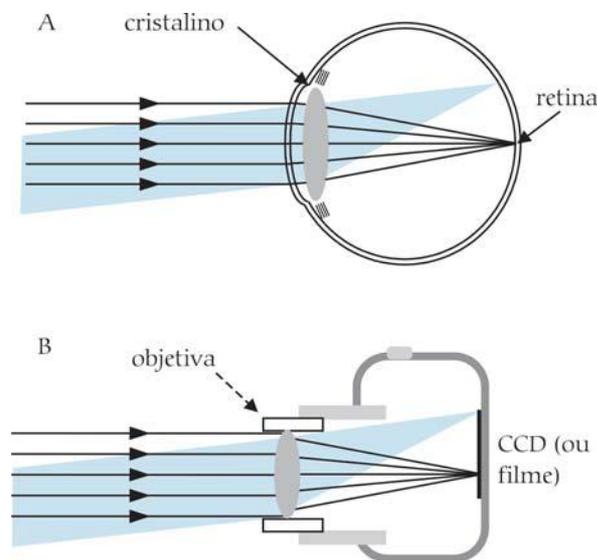


Figura 1 - A. Os raios paralelos, provindos de uma imagem distante, são focalizados pelo conjunto córnea-cristalino do olho relaxado na retina, no fundo do olho. B. De maneira análoga, raios paralelos provindos de uma imagem distante são focalizados pela objetiva de uma câmera fotográfica (ajustada para focalizar imagens no infinito) sobre o CCD (nas câmeras mais antigas, o filme). Para maior simplicidade, a objetiva da câmera fotográfica foi representada por apenas uma lente convergente.

## Microscópio

Também neste caso (Fig. 3), os raios que “emergem” da ocular são aproximadamente paralelos, e convergirão no plano focal da lente do olho (conjunto córnea-cristalino), ou sobre o CCD de uma câmera digital, que coincide com o plano focal da objetiva desta, focalizada no infinito.

### Descrição de um dispositivo de acoplamento da câmera digital a uma ocular

Antes de passar à descrição deste dispositivo, adiantamos que é possível até mesmo fazer fotos sem a ajuda dele. Este é o caso da impressionante foto da Lua que pode ser vista na Fig. 4, feita com a câmera operada manualmente, sem nenhum suporte. Mas é claro que não é prático obter as imagens por tentativa e erro, gastando nisso um tempo eventualmente considerável. Havendo a possibilidade, sempre é mais prático obter as fotos por meio de algum dispositivo de acoplamento, tal como o que será descrito a seguir.

O dispositivo (Fig. 5) consiste de um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro externo, com paredes de 5 mm de espessura e 60 mm de comprimento, acoplado a uma base de madeira, de dimensões próximas à da câmera digital que será empregada na obtenção das fotos. No protótipo aqui apresentado, as dimensões da base são de 110 mm x 55 mm, e a espessura da madeira, 6 mm. Note que a posição na qual o cano é fixado vai depender do tipo de câmera para o qual o adaptador é feito; neste caso, ele foi fixado próximo a uma das bordas, para coincidir com a posição da objetiva da câmera fotográfica. O orifício circular de 50 mm pode ser feito com uma serra copo deste diâmetro, acoplada a uma furadeira. Na falta

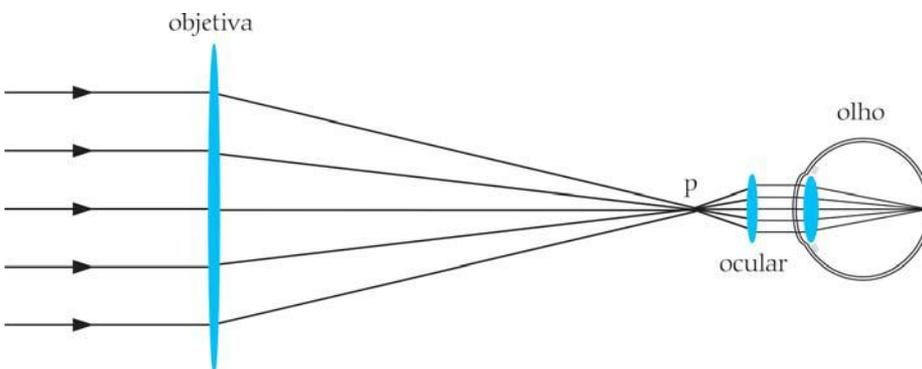


Figura 2 - Telescópio refrator, apontado para um objeto distante (o desenho está fora de escala). Os raios paralelos, provindos do objeto, são focalizados pela objetiva no plano focal que contém o ponto p, o qual coincide com o plano focal da ocular. Desta forma, os raios que emergem desta são paralelos. O olho, relaxado, focaliza-os na retina, produzindo uma imagem nítida.

desta serra, o orifício pode ser recortado por meio de uma serra tico-tico. O cano pode ser fixado à base de madeira com algumas gotas de cola rápida, tipo cianoacrilato (Super Bonder®).

### Fixação à ocular do telescópio ou microscópio

Talvez a maneira mais simples e mais “universal” de efetuar esta fixação seja a que emprega três parafusos, dispostos simetricamente na parede do tubo de PVC, como pode ser visto na Fig. 5. No protótipo aqui apresentado foram utilizados parafusos de 3 mm de diâmetro, passo 0,5 mm e 25 mm de comprimento. A rosca no PVC pode ser feita com uma ferramenta especial para este fim chamada “macho”; alternativamente, este trabalho pode ser feito rapidamente em uma oficina mecânica. A segunda solução, improvisada, pode ser a seguinte: faça três furos de 2,5 mm de diâmetro nas posições em que os parafusos serão colocados. Faça agora a rosca, rosqueando o parafuso de 3 mm de diâmetro e passo 0,5 mm no furo realizado. Tome cuidado especial no início do processo; dê uma ou duas voltas no parafuso e volte, limpe-o das rebarbas e retorne o processo, até completar a rosca. O resultado obtido através deste procedimento é aceitável.

Em geral, o diâmetro da ocular é menor que o diâmetro interno do tubo, o qual deve ser grande o suficiente para acomodar a objetiva da câmera com folga. Um segundo anel de cano de PVC, de 40 mm de diâmetro externo e aproximadamente 40 mm de comprimento permitiu neste caso o acoplamento da ocular.<sup>4</sup> Se o orifício for ainda muito grande, use mais anel de cano, até chegar próximo ao ajuste desejado. Finalmente, uma tira de papel dobrada várias vezes levará ao

diâmetro desejado, além de proteger a ocular de eventuais danos provocados pelo aperto dos parafusos.

### Fixação da câmera ao dispositivo

Foram colocados pequenos parafusos nas bordas da base de madeira (não esqueça de, antes de colocá-los, perfurar previamente a madeira com uma broca de diâmetro um pouco inferior ao diâmetro dos parafusos). A câmera é então fixada em sua posição através de atilhos

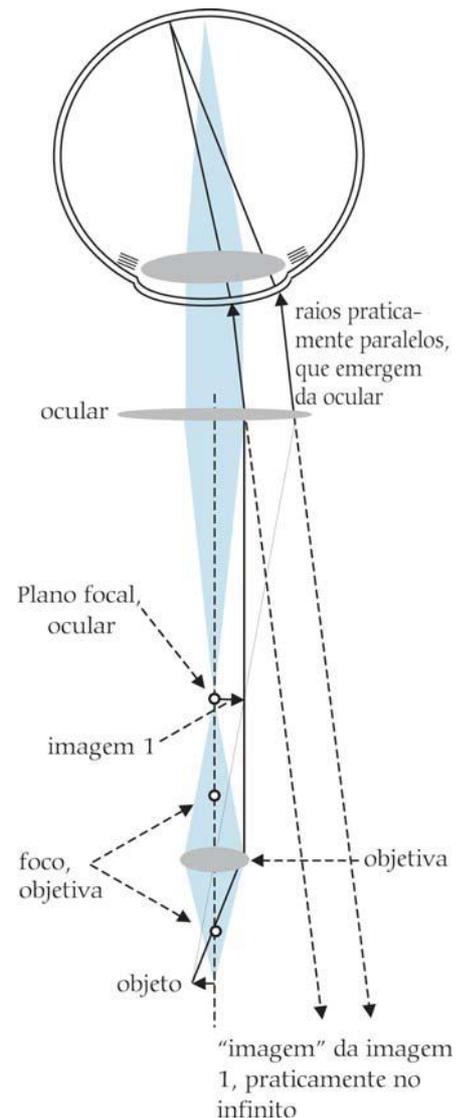


Figura 3 - Esquema de raios de um microscópio composto (fora de escala).<sup>3</sup> O objeto, próximo ao plano focal da objetiva, terá sua imagem produzida por esta (imagem 1, na figura). Esta “imagem 1” encontra-se no plano focal da ocular, e os raios que emergem desta última, praticamente paralelos, produzirão no fundo do olho relaxado (ou da câmera focalizada no infinito) uma imagem nítida, com grande ampliação.



Figura 4 - Foto da Lua a partir de um telescópio Meade de 12". Neste caso, a câmera estava regulada no modo automático, e a foto foi feita manualmente, sem o dispositivo de acoplamento descrito no texto, simplesmente aproximando-a da ocular e encontrando a melhor posição por tentativa e erro. Foi utilizado um aumento de 3x. Na verdade, esta é a melhor foto escolhida dentro de mais de uma dezena delas. O uso do dispositivo de fixação descrito no texto evitaria estes longos procedimentos de tentativa e erro.



Figura 5 - A - Foto do dispositivo. Os três parafusos de fixação da ocular foram dotados de uma porca extra, de modo a facilitar o manuseio. Os parafusos laterais, fixos no suporte de madeira, servem para prender a câmera. O anel de PVC, acima da câmera, permite a adaptação da ocular ao dispositivo, praticamente sem folgas. B. Atilhos de borracha fixam a câmera ao dispositivo, de maneira segura e sem danos a ela. Os dois pinos, próximos à câmera, evitam que ela se mova em relação ao tubo adaptador. O tubo de PVC, sobre a ocular, ajusta-se ao tubo do dispositivo. As fotos das Figs. 6 e 7 foram obtidas com o equipamento aqui mostrado, acoplado a um dos lados de uma lupa binocular.

(elásticos de amarrar) de borracha, como pode ser visto na Fig. 4. Este procedimento evita danos à câmera, tais como riscos.

Antes de proceder à montagem tome um último cuidado: assegure-se de que, ao ligar a câmera, a objetiva possa ocupar sua posição sem nenhum impedimento. Tome um cuidado especial em não montar a ocular muito para dentro do tubo, a ponto de obstruir o avanço do sistema de lentes da câmera quando ela é ligada. Não há uma distância rígida a ser obedecida entre a ocular e a objetiva da câmera; no nosso protótipo, esta distância é da ordem de 1 cm. Distâncias muito maiores comprometerão o "campo de visão" da câmera.

### **Regulagens da câmera**

A operação mais simples consiste em prender a câmera ao suporte, acoplá-la à ocular do instrumento, e regulá-la para o modo automático. Bloqueie o disparo do *flash* (se tiver dúvida de como fazer isso, consulte o manual. Praticamente todas as câmeras digitais dispõem deste recurso). Verifique na tela da câmera; é provável que a imagem fique restrita a uma região circular, no centro desta. Use então o aumento; isto permitirá - em geral - que a imagem preencha todo o campo de visão. O aumento óptico de 3x, disponível na maioria das câmeras, é suficiente para que esta operação seja executada. Entretanto, oculares com grande aumento e pequena abertura poderão fornecer imagens com menor campo de visão. Mesmo com a ajuda do aumento da câmera, talvez não seja possível preencher todo o campo. Uma observação adicional: dependendo da resolução selecionada para a foto, há possibilidade de uso do aumento digital. Nada melhor do que efetuar alguns testes para descobrir a melhor combinação. Agora, a foto: se as imagens forem razoavelmente luminosas, o que é o caso das fotos apresentadas a seguir, bastará simplesmente pressionar o obturador!

### **Regulagens manuais**

Algumas câmeras digitais permitem a operação no modo manual. Nestas, pode-se proceder da seguinte maneira: 1- ajuste a câmera para o modo de operação manual. 2- Não esqueça de bloquear o disparo do *flash*. 3- Através do menu da câmera, ajuste a sensibilidade ISO do filme. Se as imagens forem de pouca luminosidade, selecione uma regulagem alta, por exemplo, ISO 400, ou maior, se a câmera oferecer esta possibilidade. 4- Abertura: por exemplo, uma abertura 5.6 fornecerá imagens mais luminosas do que uma abertura 10. Selecione a mais

conveniente. 5- Distância focal: ajuste a câmera para o foco no infinito. Como dito anteriormente, isto fará com que os raios paralelos que incidem na lente converjam sobre o plano focal, ou seja, o sensor de luz. 6- Selecione o tempo de exposição. Para imagens brilhantes, o que é o caso das apresentadas neste trabalho, o resultado de tempos de exposição maiores ou menores pode ser avaliado imediatamente na tela da câmera, sem mesmo ser necessário bater a foto. Se as imagens forem pouco luminosas, talvez seja necessário proceder por tentativa e erro. Se o tempo selecionado for longo, talvez seja mais conveniente usar o retardador de disparo da câmera para minimizar efeitos de trepidação. As fotos das Figs. 6 e 7 foram obtidas desta forma.

Se a câmera em uso não oferecer a opção de ajustes manuais, selecione-a para o modo automático e bloqueie o disparo do *flash*. Os resultados em geral são comparáveis aos das Figs. 4, 6 e 7 apresentadas neste trabalho. Outra possibilidade, oferecida em algumas câmeras, é a seleção do modo "paisagem" (*landscape*), ou o modo "fogos de artifício". Nestes modos, o foco é fixado pela câmera na posição "infinito", e o disparo do *flash* é automaticamente bloqueado; no modo "fogos de artifício" a câmera seleciona velocidades de disparo mais baixas, o que pode ser conveniente. Efetue vários testes, os resultados apontarão quais as opções que levarão às melhores fotos.

### Outras possibilidades

#### Filmagens

A câmera com o suporte pode ser usada para filmar eventos monitorados com uma lupa ou microscópio. Por exemplo, pode-se observar e filmar o efeito de aquecimento e fusão provocado pela passagem de uma corrente elétrica por um fino filamento de ferro, retirado de um Bom Bril®.

#### Acompanhamento em uma televisão

A maior parte das câmeras vem acompanhada de um cabo que permite a visualização das imagens (ou filmes gravados) em um aparelho de televisão. Neste caso, é claro, a resolução da imagem (VGA) é bem menor quando comparada com a que pode ser obtida nas fotos, como as apresentadas neste trabalho.

#### Resultados obtidos

Selecionamos algumas das (muitas!) fotos realizadas com o dispositivo descrito acima. Os detalhes aparecem nas legendas

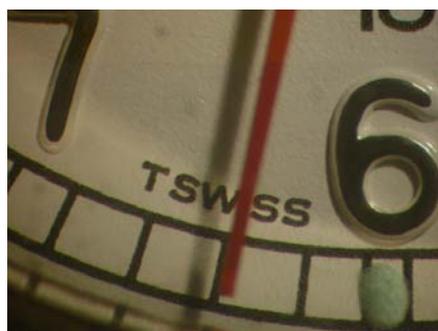


Figura 6 - Foto de um relógio de pulso, feita por meio de uma lupa binocular; o dispositivo com a câmera foi fixado em uma das oculares. O aumento da lupa foi de 25x, e a câmera foi regulada manualmente: ISO 400, velocidade 1/250 (note que, com esta ampliação, a lupa produz imagens muito brilhantes), abertura 5.6, foco ajustado para o infinito, uso de retardador de foto e resolução da imagem de 5 Megapixels. Foi empregado um aumento óptico de 3x. O ponteiro dos segundos aparece ligeiramente borrado por estar em movimento.

de cada foto. A câmera utilizada foi uma Sony Cyber Shot P 150®. É importante frisar que praticamente qualquer câmera digital de pequeno porte se presta para a adaptação aqui proposta. Porém, nem todas oferecerão a possibilidade de controle manual.

### Conclusões

Como pode ser constatado nas fotos apresentadas, o resultado é bastante bom e está ao alcance de qualquer pessoa que dedique algum tempo para a confecção do dispositivo e execução das fotos. O custo do dispositivo de adaptação é baixo, e sua fabricação não envolve nenhuma complexidade excessiva. Uma solução alternativa, e de custo aceitável, é a de encomendar a confecção deste dispositivo em alguma oficina. Outra alternativa é a de consultar os alunos: é possível que algum deles ou alguém da família disponha dos recursos e fabrique um destes dispositivos, e o doe posteriormente à escola.

Do ponto de vista do ensino de física,



Figura 7 - Cabeça de inseto, também obtida com a lupa referida na Fig. 6, com aumento de 25x. Regulagens da câmera: ISO 400, velocidade 1/125, abertura 5.6, foco ajustado para o infinito, uso de retardador de foto e resolução da imagem de 5 megapixels.

há pelo menos um dividendo importante a considerar: os princípios de óptica envolvidos são todos acessíveis, e usualmente abordados no nível médio. Um projeto que envolva os alunos em todas as etapas, desde a construção do dispositivo até a obtenção das fotos, além de propiciar um bom aprendizado de óptica aplicada, certamente será fonte de grande motivação.

O dispositivo aqui descrito não se restringe à física. Como pode ser verificado na Fig. 7, atividades de ensino em biologia podem ser exploradas, desde a preparação das amostras até a produção das fotos. Aqui também prenuncia-se uma possibilidade de grande motivação dos alunos e professores envolvidos, motivação esta que pode ser aumentada com a perspectiva de realização, na escola e (ou) em outros espaços públicos, de uma "galeria" com as melhores fotos obtidas. Como diz o adágio, freqüentemente "uma imagem vale por mil palavras".

### Agradecimentos

Ao CNPq e à Universidade de Caxias do Sul pelo apoio prestado.

Francisco Catelli\*,  
Marcos Andrezza,  
Odilon Giovannini Júnior  
Fernando Siqueira da Silva  
Universidade de Caxias do Sul,  
Caxias do Sul, RS, Brasil  
\*E-mail: fcatelli@ucs.br

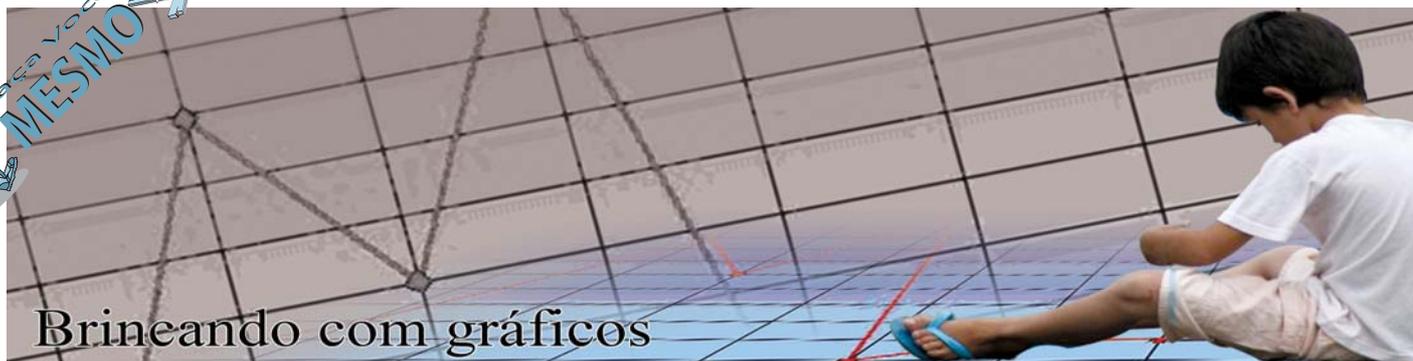
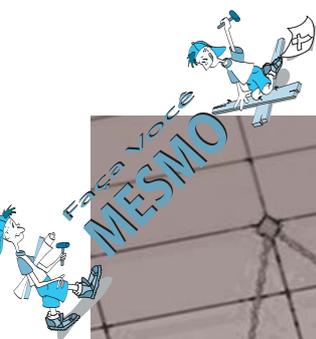
### Bibliografia e notas

<sup>1</sup>Ver, por exemplo, Sears e Zemansky *Física – Ótica e Física Moderna* (Addison Wesley, São Paulo, 2004), v. 4., 10ª ed., p. 69 e seguintes.

<sup>2</sup>Tanto o CMOS (sigla em inglês para semicondutor metal-óxido) quanto o CCD (sigla em inglês para dispositivo de carga acoplado) constituem um arranjo de dispositivos sensíveis à luz, ou "pixels". Um arranjo típico pode ser constituído de 7 200 000 destes condutores. Em linguagem corrente, diz-se que se trata de uma "câmara digital de 7,2 Mega". Ver por exemplo, pt.wikipedia.org/wiki/Brasil, e procurar na busca por "câmara digital", "CMOS" e "CCD".

<sup>3</sup>E. HECHT, *Optics* (Addison Wesley, Reading, 1987), 2ª ed, p. 191.

<sup>4</sup>A ocular em questão é de uma lupa binocular Zeiss. O diâmetro do encaixe é de 34 mm.



## Brincando com gráficos

**G**ráficos são representações do comportamento das variáveis de um sistema por meio de desenhos. Eles são recursos comuns em quase todas as áreas das Ciências, na Física em particular, são uma ferramenta exaustivamente utilizada para a análise de sistemas em estudo. Também estão presentes em revistas e jornais para ilustrar e representar diversas situações do cotidiano, por exemplo: demonstrar o crescimento de uma população de indivíduos ou animais, os resultados de pesquisas eleitorais, a variação de temperatura em uma região da cidade e também o rendimento de uma empresa ou o comportamento de ações no mercado financeiro. Deste modo é interessante que os estudantes aprendam desde as séries iniciais do ensino fundamental a utilizar e interpretar as informações mostradas em um gráfico. Há diferentes tipos de gráficos (colunas, linhas, barras, pizza, área, rosca), escolhidos e usados tendo em vista sua melhor adequação à situação em análise, contudo o gráfico em duas dimensões que exibe um traçado em um plano cartesiano é um dos mais simples e adequados para o aluno que se inicia na análise gráfica.

Observa-se nas classes de ensino médio, nos exames vestibulares e até no ensino superior que a utilização de gráficos para a apresentação e explicação de um fenômeno sofre grande resistência por parte dos alunos. Assim os objetivos principais deste trabalho são: apresentar um brinquedo através do qual as crianças tenham um primeiro contato com a leitura de gráficos e colaborar para que no futuro tal sentimento de aversão se manifeste com menor intensidade.

*Brincando com Gráficos* é uma atividade lúdica, desenvolvida para familiarizar o aluno com a leitura e interpretação de gráficos. Trata-se de um jogo criado usando carrinhos, uma pista retilínea com marcações de distância e algumas cartelas com gráficos impressos. O aluno é estimulado a mover seu carrinho na pista de acordo com a leitura do gráfico na cartela

escolhida. Busca-se atingir um objetivo competindo com outro aluno adversário.

### Material usado: os componentes do jogo

- Cartelas com gráficos impressos (posição versus etapa do jogo)
- Uma pista feita em papel duplex ou cartolina
- Carrinhos de plástico
- Cartelas com os objetivos a serem atingido

A Fig. 2 mostra dois exemplos de gráficos utilizados no jogo. Eles podem ser impressos em papel sulfite 40, recortados na forma de cartões e plastificados, para uma maior durabilidade. Cada gráfico tem na sua ordenada ( $y$ ) a posição em centímetros do carrinho em relação à largada, e a abscissa ( $x$ ) corresponde à etapa ou jogada que está sendo executada. A largada ou posição inicial dos carrinhos equivale ao par cartesiano  $(x, y) = (1, 0)$ , ou seja, a origem do gráfico, neste caso.

Estes gráficos não possuem valores negativos para o eixo  $x$ , já que as etapas não podem ser negativas. Também os valores dispostos no eixo  $y$  são positivos, pois indicam a posição onde o carrinho deve ser colocado em relação ao ponto de partida. Nos gráficos, a função é crescente

quando os valores de  $y$  aumentam em um determinado intervalo, ou seja, o carrinho avança. É decrescente quando os valores de  $y$  diminuem e o carrinho retrocede. A função é constante quando os valores de  $y$  não mudam e o carrinho permanece no mesmo lugar durante uma ou mais etapas. É interessante que o professor construa vários gráficos com diferentes traçados, para que os alunos tenham diferentes opções e possam repetir o jogo várias vezes. Os gráficos mostrados na Fig. 2 foram construídos usando o programa Microsoft Excel.

A pista (Fig. 1) deve ser construída de preferência na cor preta para simular uma estrada, contendo marcações regulares indicadas pelas linhas transversais brancas, espaçadas de 5 cm em 5 cm para indicar a posição onde a frente do carrinho deve ser colocada. O tracejado longitudinal amarelo divide as raia dos jogadores. A figura mostra uma pista confeccionada de modo que a distância máxima alcançada corresponde a 60 cm. Pistas maiores em comprimento e com mais raia podem ser igualmente usadas na brincadeira.

Os carrinhos escolhidos são pequenos, de plástico, adquiridos em lojas de materiais para festas. São vendidos em pacotes com várias unidades, a um custo

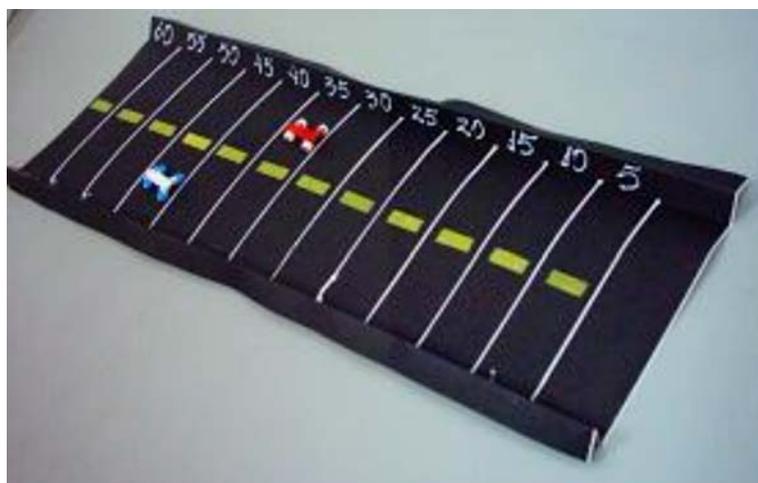


Figura 1 - Pista para deslocamento dos carrinhos.

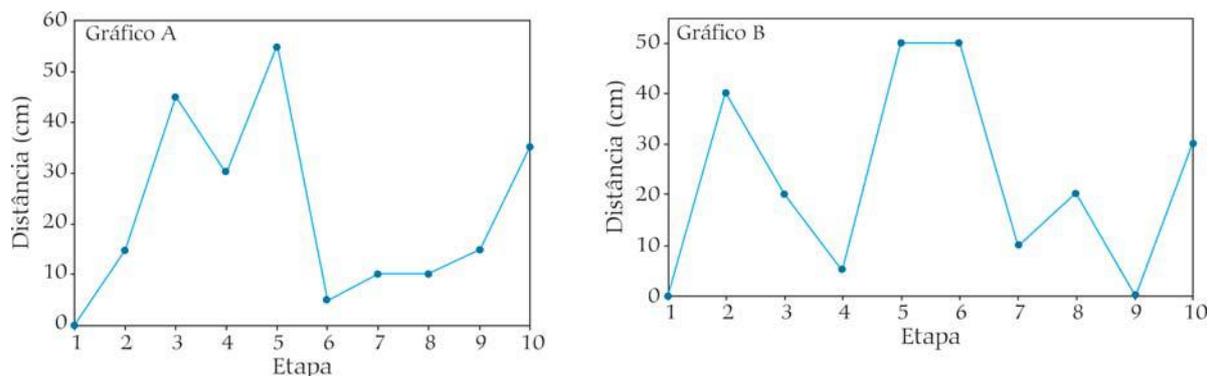


Figura 2 - Exemplo de dois gráficos usados na competição.

muito baixo.

### Construindo outros gráficos

Levando em consideração a faixa etária e o desenvolvimento cognitivo dos alunos com os quais se propõe trabalhar, este artigo sugere no texto acima que o professor elabore os gráficos apresentados nas cartelas e que os alunos apenas os interpretem. No entanto, de acordo com a avaliação do professor e o conhecimento de seus alunos, a classe poderá também trabalhar na construção de outros gráficos. Com algumas informações poderão ser elaborados gráficos simples relacionados com fatos do cotidiano e quiçá os próprios gráficos do brinquedo apresentado neste texto. Sugerimos que as informações básicas abaixo descritas sejam apresentadas para a execução de tal tarefa.

Para construir um gráfico, utiliza-se um sistema de eixos perpendiculares entre si, isto é, dois segmentos de reta que fazem um ângulo de 90 graus entre si. A cada eixo é atribuída uma escala que se inicia com o valor zero de modo que o ponto (0,0) é a intersecção desses eixos, chamada origem. No eixo vertical coloca-se a grandeza (seus gastos na cantina da escola, por exemplo) que depende ou varia com a grandeza (mês do ano, por exemplo) que será colocada no eixo horizontal. A interdisciplinaridade pode ser explorada estimulando a pesquisa de temas relacionados com as disciplinas ciências ou biologia, geografia e matemática para a confecção de gráficos. Assim seguem alguns exemplos:

- nascimentos de crianças na cidade X mês do ano;
- óbitos na cidade X semana ou mês do ano;
- número de crianças ausentes na escola ou na sua classe X semana ou mês;
- consumo de água de sua casa X mês do ano;

- consumo de energia elétrica de sua casa X mês do ano;
- seus gastos na cantina da escola X mês do ano;
- temperatura da sala de aula numa dada hora do dia X dias do mês;
- crescimento de uma planta a partir de uma semente germinada em um dado substrato X semana;
- horas gastas assistindo televisão X dia da semana;

Após a pesquisa e a obtenção dos dados, cada aluno poderá fazer uma cartela que apresente o gráfico em uma das suas faces e na outra uma explicação sucinta sobre o fenômeno ou fato associado.

### Regras da brincadeira com os carrinhos

Podem participar da brincadeira dois alunos ou duas equipes; cada jogador ou equipe escolhe um gráfico e um carrinho para usar. Inicialmente os carrinhos são colocados na posição de largada. No decorrer do jogo, cada aluno/equipe por vez, consulta a sua cartela movimentando o carrinho de acordo com a leitura gráfica. O aluno associa a posição do seu carrinho, com as indicações do gráfico naquela etapa do jogo.

É interessante eleger um aluno para ser o juiz, dando a largada ao jogo, fazendo a marcação de cada etapa e sorteando o objetivo que deve ser mantido em segredo até que todas as etapas sejam executadas. O objetivo é uma dada posição em relação à largada, por exemplo estar a 30 cm do início da pista. Ganha a competição quem estiver com o carrinho mais próximo do objetivo, após executadas todas as etapas indicadas no gráfico escolhido.

Diferentes posições devem ser escolhidas como objetivo, e escritas em cartelas, para serem sorteadas. Cada vez que for iniciada uma competição, um objetivo é sorteado e mantido em segredo pelo juiz,

para evitar que alunos mais familiarizados com a interpretação dos gráficos antecipem o resultado da competição. Como são confeccionadas várias cartelas, cada jogador terá um gráfico diferente para interpretar. Feita a escolha da cartela o aluno não sabe se ela contém o melhor gráfico para alcançar o objetivo e vencer a brincadeira.

### Discussão e Conclusão

Esta atividade foi desenvolvida para ser trabalhada nas séries iniciais do ensino fundamental. Sendo assim, outras potencialidades do brinquedo não estão sendo abordadas, por exemplo, os conceitos relacionados à Cinemática como deslocamento, espaço percorrido e vetores.

Ao se introduzir os gráficos de maneira lúdica como é proposto neste jogo, o aprendizado se torna mais interessante e agradável. Muda-se também a percepção do aluno quanto à importância dos conceitos e das relações matemáticas que os descrevem. Segundo Einstein a aquisição de conhecimento não precisa excluir a alegria, muito pelo contrário, cabe ao professor buscar formas prazerosas de transmiti-lo.

### Agradecimento

PROEX e Programa Ciência na UNESP

Alzira C. de Mello Stein-Barana\*,  
Deisy Piedade Munhoz Lopes  
Suzana Kaori Ura

Departamento de Física, Universidade  
Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil  
\*E-mail: alzirasb@rc.unesp.br

### Referências

- A.J.L. Bigode, *Matemática Hoje é Feita Assim* (FTD, São Paulo, 2000), v.4.  
C.F. Medeiros e A. Medeiros, *Física na Escola* 6:2, 29 (2005).  
A. Gaspar, *Física - Mecânica* (Ática, São Paulo, 2000), v. 1.



### **Buracos Negros: Rompendo os Limites da Ficção**

Daniel Vanzella e George Matsas (Vieira & Lent, Rio de Janeiro, 2008), 128 p. Daniel Vanzella, jovem professor do Instituto de Física de São Carlos, e George Matsas, experiente pesquisador e professor do Instituto de Física Teórica da UNESP, suspenderam em parte seus complicados cálculos teóricos acerca do Universo para brindar os leitores com esse tema fascinante. O livro pretende atingir um público amplo, mas pode ser muito útil para professores ávidos em discutir com seus alunos questões sutis sobre a estrutura do Universo. *Buracos Negros: Rompendo os Limites da Ficção* levará o leitor a descobrir aspectos intrigantes sobre esta região do espaço em que a atração gravitacional, devido ao acúmulo excessivo de matéria e energia, é tão intensa que nada consegue escapar de seu interior (em particular, nem mesmo a luz). Os buracos negros, entidades até certo ponto muito simples e feitos de pura gravidade, atuam no centro das galáxias e podem concentrar a energia equivalente a bilhões de estrelas. Os autores fazem uma retrospectiva histórica dos avanços da física. Partem da Grécia antiga (Aristóteles) e passam pelos principais pensadores da física (Copérnico, Kepler, Galileu, Newton e Maxwell, dentre outros) chegando a Einstein e à mecânica quântica. Um livro indispensável para o professor de ciências.

### **Big Bang**

Simon Singh (Record, Rio de Janeiro, 2006), 499 p.

“Esta idéia de “big bang” me parece insatisfatória... pois é um processo irracional que não pode ser descrito em termos científicos”. Com esta sentença definitiva em uma emissora de rádio em 1950, Fred Hoyle, o famoso astrônomo inglês, apelidou a teoria que rivalizava com a sua teoria do estado estacionário. Nos tempos atuais, a teoria do big bang se apresenta como o paradigma mais aceito nas tentativas de compreender o Universo. Simon

Singh, o prestigiado autor de *O Último Teorema de Fermat* (Record, 1998) compete com muitos livros que prometem revelar os mistérios do universo em suas páginas e é bem sucedido. Ele explica a teoria do big bang com profundidade, usando uma narrativa bem-humorada, mostrando a evolução da astronomia deste Ptolomeu aos dias atuais e, confrontando com teorias rivais, explica por que ela é considerada pela maioria dos cosmólogos a melhor descrição da origem do universo. Ao invés de equações, Singh coloca no livro os cientistas e como suas idéias progrediram e foram comprovadas ou refutadas pelas observações. Descreve o papel de importantes personagens em geral pouco conhecidas, como Henrietta Leavitt, uma infatigável “calculista” de Harvard que descobriu como as Cefeidas podem ser usadas para medir distâncias intergalácticas. Os capítulos introdutórios de big bang contêm material de excelente qualidade para um curso de evolução da astronomia, pois contempla uma história das observações astronômicas ao descrever o desenvolvimento dos novos telescópios que foram cruciais na construção da cosmologia moderna.

### **Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca**

Andre Koch Torres Assis (Apeiron, Montreal, 2008), 243 p. André Assis, físico da Unicamp, apresenta uma série de experiências simples realizadas com material de baixo custo com o intuito de discutir fenômenos básicos da mecânica, e em especial as noções de equilíbrio dos corpos suspensos sob ação da gravidade, o centro de gravidade e a lei da alavanca. Apesar de apresentar experiências muito simples e, muitas delas, bastante lúdicas, dirigido a um público de ensino médio, o livro descreve os principais eventos da vida de Arquimedes e o conteúdo de suas obras. É feita uma análise detalhada das obras de Euclides e de Arquimedes, assim como a tradução de duas obras desses autores. Trata-se de um livro que ajuda o professor na proposição de experiências para a sala

de aula ou para trabalhos de casa ao mesmo tempo que é uma importante contribuição para o ensino da história da ciência. O livro encontra-se disponível gratuitamente nos endereços [www.pion.org.br](http://www.pion.org.br) e [www.ifi.unicamp.br/~assis](http://www.ifi.unicamp.br/~assis).

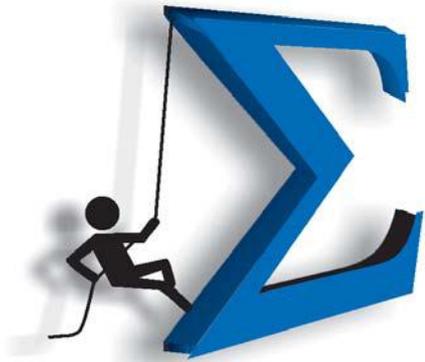
### **Ensino de Física e Deficiência Visual: Dez Anos de Investigações no Brasil**

Eder Pires de Camargo (Plêiade/Fapesp, São Paulo, 2008)

O presente livro é o resultado de pesquisas do autor nos níveis de mestrado, doutorado e pós-doutorado realizadas entre os anos de 1997 e 2006. Está organizado em cinco capítulos. No capítulo I, é apresentado um posicionamento teórico sobre o fenômeno da deficiência visual. O capítulo II enfoca o tema das concepções alternativas de pessoas cegas e discute alguns referenciais observacionais não-visuais acerca do repouso e do movimento dos objetos. No capítulo III, realiza-se uma reflexão sobre o atual quadro brasileiro da formação de professores de física, no contexto da deficiência visual, e descreve-se um processo para a formação do docente de física na perspectiva de sua atuação em salas de aula, que contemplam a presença de alunos com e sem deficiência visual. O capítulo IV enfatiza as principais dificuldades e alternativas vivenciadas por futuros professores durante o processo de planejamento de atividades de ensino de física adequadas aos alunos com deficiência visual. Finalmente, o capítulo V descreve procedimentos para a elaboração e condução de atividades de ensino de física para alunos cegos ou com baixa visão. O livro visa provocar ampla discussão sobre o processo de ensino e aprendizagem não apenas no contexto dos alunos com deficiência visual, mas de todos os alunos, propondo um modelo para a formação docente no contexto da inclusão escolar. Pesquisadores, professores regentes e estudantes de pós-graduação envolvidos nessa problemática, sem dúvida, beneficiar-se-ão bastante da leitura deste livro pioneiro.

O autor, também deficiente visual, é professor do Departamento de Física e Química da Escola de Engenharia de UNESP, Campus de Ilha Solteira. Entre seus vários trabalhos, alguns foram publicados na RBEF e na FNE (consulte o sítio [www.dfq.feis.unesp.br/dv fisica](http://www.dfq.feis.unesp.br/dv fisica) para saber mais a respeito).

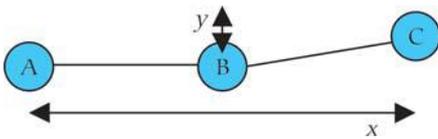
Os interessados em adquirir o livro podem entrar em contato com o autor através do endereço de correspondência [camargoep@dfq.feis.unesp.br](mailto:camargoep@dfq.feis.unesp.br).



# Problemas Olímpicos

## Soluções dos problemas do número anterior

1 Cálculo da carga unitária de um sistema com três moedas idênticas de massa  $m$  conectadas por duas cordas leves e não condutoras. Sejam A, B e C cada uma das moedas, e  $x$  e  $y$  as distâncias como mostrado no diagrama.



A energia potencial total desse sistema é  $U = U_{AB} + U_{AC} + U_{BC}$ . Como as distâncias entre A e B e entre B e C são fixas,  $U_{AB} = U_{BC} = \text{constante}$ . Por outro lado

$$U_{AC} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{x} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{\sqrt{d^2 - y^2}}$$

Para pequenos deslocamentos podemos usar a expansão  $(1+z)^a \approx 1+az$ , e então

$$U_{AC} \approx \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{2d} \left(1 + \frac{y^2}{2d^2}\right)$$

Como o centro de massa não se move, a moeda B moverá  $y_B = 2y/3$ , enquanto as outras duas irão se mover de  $y/3$  na outra direção. A variação na energia potencial total como função do deslocamento  $y_B$  é

$$\Delta U \approx \frac{1}{2} \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{9Q^2}{8d^3} \right) y_B^2$$

Se a moeda B move-se verticalmente para cima com velocidade  $v_B$  devido a conservação do momento linear, as moedas A e C mover-se-ão em sentido oposto com velocidades  $v_B/2$  cada uma. Assim, para pequenos deslocamentos, e desprezando a componente horizontal das velocidades das moedas, a energia cinética

será dada por

$$K \approx \frac{1}{2} m v_B^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} m (v_B/2)^2 = \frac{1}{2} (3m/2) v_B^2$$

Nesse caso, o sistema comporta-se como um sistema unidimensional de massa efetiva  $m_{\text{efet.}} \sim 3m/2$  e constante de mola

$$k_{\text{mola}} \approx \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{9Q^2}{8d^3} \right)$$

Desta forma, o período do movimento é  $T = 2\pi \sqrt{k_{\text{mola}}/m_{\text{efet.}}}$ , resultando portanto para a carga de cada moeda

$$Q \approx \frac{4\pi}{T} \sqrt{\frac{md^3/3}{1/(4\pi\epsilon_0)}}$$

2 Temperatura das superfícies de uma placa. A placa é aquecida devido a absorção da luz solar pela superfície superior de área  $A$ . Suponha que o Sol esteja a pino. A taxa de energia de absorção pela placa é  $P_{\text{abs}} = eIA$ , onde a constante solar é  $I = 1350 \text{ W/m}^2$ ,  $e$  é a emissividade da placa de metal opaca que é igual a absorvidade,  $\alpha = 1 - \rho$ , sendo  $\rho$  a refletividade média sobre todo o espectro solar. A idéia deste problema é utilizar conhecimentos da lei de resfriamento de Newton e da condutividade térmica do material, sem entrar em qualquer tipo de modelo detalhado para a placa. Assim, a taxa de perda de energia de cada superfície da placa é  $P_{\text{perda}} = cA(T - T_0)$ , sendo  $T$  a temperatura de cada superfície,  $c$  uma constante (que depende da constante de Boltzmann, emissividade, pressão atmosférica, etc.) e  $T_0$  a temperatura ambiente. Quando a placa atinge o equilíbrio térmico, a taxa de energia ganha por absorção na superfície superior deve-se igualar a taxa de perda de energia através das duas superfícies, a de

cima e a de baixo,

$$eIA = cA(T_{\text{topo}} - T_0) + cA(T_{\text{baixo}} - T_0) \\ \Rightarrow T_{\text{medio}} = \frac{1}{2}(T_{\text{topo}} + T_{\text{baixo}}) = T_0 + \frac{eI}{2c} = cte,$$

ou seja, a temperatura média da placa é uma constante, independente da espessura da placa. Como a temperatura média da placa é 350 K para a primeira placa considerada, concluímos que a temperatura das duas superfícies estão relacionadas por

$$\frac{1}{2}(T_{\text{topo}} + T_{\text{baixo}}) = 350 \text{ K} \Rightarrow T_{\text{topo}} = 700 - T_{\text{baixo}}$$

qualquer que seja a espessura da placa. Considere agora a taxa de condução térmica da superfície superior para a inferior

$$P_{\text{cond}} = kA \frac{T_{\text{topo}} - T_{\text{baixo}}}{nd} = kA \frac{700 - 2T_{\text{baixo}}}{nd},$$

sendo  $k$  a condutividade térmica da placa e  $n = 1$  para a primeira placa e  $n = 2$  quando dobra-se sua espessura. Olhemos somente a superfície inferior; a equação acima descreve a taxa com que ela (a superfície inferior) ganha energia e que deve ser balanceada com a taxa de perda de energia para a vizinhança, ou seja,

$$kA \frac{700 - 2T_{\text{baixo}}}{nd} = cA(T_{\text{baixo}} - T_0)$$

Escrevendo esta equação para as duas espessuras,  $n = 1$  e  $n = 2$ , e perfazendo o quociente delas, resulta

$$\frac{(700 - 2 \times 340)/1}{(700 - 2T_{\text{baixo}})/2} = \frac{340 - 300}{T_{\text{baixo}} - 300}$$

Sendo  $T_{\text{baixo}}$  a temperatura da superfície inferior da placa de espessura duas vezes maior. Resolvendo, resulta

$$T_{\text{baixo}} = 333.3 \text{ K} \Rightarrow T_{\text{topo}} = 366.7 \text{ K}$$

3 Cálculo para não colisão de duas partículas de massa  $m$  e cargas iguais e de sinais opostos imersas em um campo magnético uniforme  $\mathbf{B}$ . Ao serem soltas, as cargas, devido a força de atração elétrica, adquirem uma velocidade  $v$ . Devido a presença do campo magnético, as cargas são então defletidas na direção  $y$ . Façamos a análise sobre a carga positiva, por simplicidade. Inicialmente a separação entre elas é  $L$ , e, portanto, cada uma estará localizada em  $x_i = L/2$  e  $y_i = 0$ . Da 2ª lei de Newton,  $\mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B = m\mathbf{a}$ . Em termos das componentes  $x$  e  $y$  (origem localizada no ponto médio da posição inicial das partículas), temos

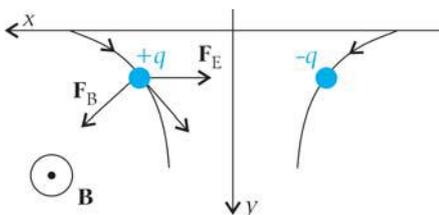
$$m \frac{dv_x}{dt} = -\frac{kq^2}{4x^2} + qv_y B, \quad (1)$$

e

$$m \frac{dv_y}{dt} = -qv_x B. \quad (2)$$

Lembrando que  $v_x = dx/dt$ , a Eq. (2) pode ser integrada de  $t = 0$  até qualquer tempo arbitrário  $t$ , resultando em

$$v_y = \frac{qB}{m} \left( \frac{L}{2} - x \right). \quad (3)$$



Utilizando o teorema trabalho-energia

$$\int \mathbf{F}_E \cdot d\mathbf{r} = \Delta K \Rightarrow -\int_{L/2}^x \frac{kq^2}{4x^2} dx = \frac{1}{2}mv^2,$$

temos

$$v = \sqrt{\frac{kq^2}{2m} \left( \frac{1}{x} - \frac{2}{L} \right)}. \quad (4)$$

Esta última expressão fornece a velocidade da partícula como função de sua posição  $x$ . Se as partículas não colidem, então haverá um ponto da trajetória onde a partícula irá se mover somente na direção  $y$ , ou seja,  $v = v_y$  para algum  $x = x_f$ . Substituindo a Eq. (3) na Eq. (4) e definindo as variáveis adimensionais  $z = \frac{x_f}{L} = 2x_f/L$  e  $c = \frac{x_f}{L} = 2x_f/L$  resulta em  $z(1-z) = 4c$ . Como procuramos pelo menor  $L$  possível, significa o maior  $c$  possível (para um dado  $m$ ,  $k$  e  $B$ ). Assim, basta maximizar  $f(z) = z(1-z)$ , ou seja, para  $z = 1/2$ , que retornando nas variáveis reais implica  $c = 1/16$ , ou  $L = (16mk/B^2)^{1/3}$ .

4 Cálculo de uma fonte de luz colocada em frente a um diamante. Sejam  $S$  a distância do objeto ao diamante,  $R$  o raio de curvatura do diamante,  $2r$  a distância da imagem ao diamante e  $n$  o índice de refração do diamante ( $n = 2.4$ ). Usando a aproximação simples para o raio paraxial,

$$\frac{1}{s} + \frac{n}{2r} = \frac{n-1}{r},$$

que resolvendo para  $s$  resulta  $s = 5r$ .

5 Cálculo da resistência em um circuito hexagonal infinito. Um método baseado na simetria e superposição para se achar a resistência efetiva entre dois nós de uma rede infinita quadrada de resistores foi proposto por

Aitchison na Am. J. Phys. **32**, 566 (1964).

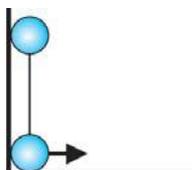
Aplicaremos aqui o mesmo método. Os nós adjacentes K e M são mantidos em uma diferença de potencial  $V$ . Esta situação física é vista como a superposição de duas outras configurações. Em uma configuração o ponto K é mantido em um potencial  $V/2$  relativo a borda localizada no infinito. Uma corrente  $i$  flui para K e  $i$  se divide igualmente em três caminhos devido a simetria da rede e da regra dos nós de Kirchhoff. Em particular, uma corrente  $i/3$  fluirá de K pra M. Na outra configuração, M é mantido a um potencial  $V/2$  relativo a borda. Uma corrente  $i$  flui de M, e novamente, por simetria e a regra dos nós, uma corrente  $i/3$  fluirá de K para M. A superposição dessas duas configurações fornecerá a corrente líquida  $2i/3$  no ramo KM e uma diferença de potencial  $V$  entre eles. Pela lei de Ohm a queda de potencial através da resistência em KM será  $(2i/3)R$ . Da lei de Kirchhoff temos  $V = 2i/3R$ , e a resistência efetiva será então dada por  $R_{KM} = V/i = 2R/3$ . A resistência entre K e L é determinada da mesma maneira. Se K for mantido a um potencial  $V/2$ , a corrente  $i$  se dividirá em três. A corrente  $i/3$  em KM irá então se dividir em duas, resultando para a corrente em KL  $i/6$ . Mantendo L em  $-V/2$ , introduzimos uma corrente  $i/3$  em ML (de M para L) e  $i/6$  em KM. A superposição das correntes  $i/3 + i/6 = i/2$  em KM que é a mesma em KL. Assim,  $V = i_{MK}R + i_{ML}R = iR$ , e a resistência efetiva será  $R_{KL} = R = 10\Omega$ .

Envie sua solução dos problemas para [djpr@df.ufscar.br](mailto:djpr@df.ufscar.br). Não esqueça de incluir a sua Escola na mensagem. Se estiver correta, você se candidata a uma assinatura gratuita de Física na Escola, além de constar na Lista de Honra da seção Desafitos

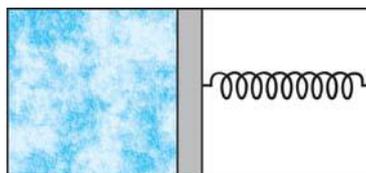
### Novos problemas

#### Problemas extraídos do The Physics Teachers – Physics Challenge for Teachers and Students – 2002

1 Um haltere consiste em uma haste leve de comprimento  $r$  e duas pequenas massas  $m$  presas em suas extremidades. O haltere repousa verticalmente em um canto formado por dois planos sem atrito. Após o extremo inferior ter se movido ligeiramente para a direita, o haltere começa a escorregar. Determine a velocidade  $u$  da parte de baixo no momento em que a massa do topo perde contato com o plano vertical.



2 Um contêiner isolado é separado por um pistão que pode-se mover sem atrito.



A parte esquerda do contêiner está cheia com 1 mol de gás ideal monoatômico, e a parte direita contém vácuo. O pistão está conectado na parede direita do contêiner através de uma mola cujo comprimento relaxada é igual ao comprimento total do contêiner. Determine a capa-

cidade térmica  $C$  do sistema, negligenciando a capacidade térmica do contêiner, pistão e mola.

3 Quais dos seguintes itens continuamente emitem radiação eletromagnética? a) uma lâmpada incandescente apagada, b) um radiador de calor ligado, c) uma forma de gelo. Explique.

4 É de consenso que uma casa pintada de branco é uma boa idéia nos dias quentes de verão porque a luz do sol é refletida para o exterior, fazendo com que o interior fique mais frio. Mas e durante o inverno? Será a casa pintada de branco uma boa idéia? Justifique.