

## Carta do Editor

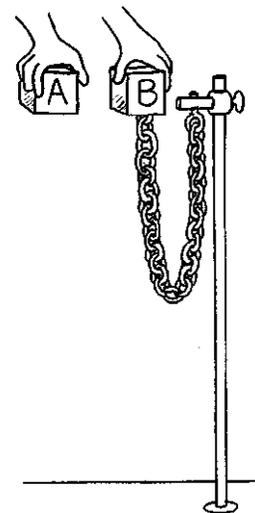
**U**ltrapassamos a barreira da primeira dezena de edições da FnE. Editores mais experientes costumam dizer que atingir esta marca é motivo de júbilo. Em especial no caso de uma publicação voltada para um público específico. Comemoramos com artigos bastante interessantes e formativos nesta 11ª edição.

Sem sofrer grandes infortúnios causados por atividades sísmica e climática (exceções são a recorrente seca nordestina e algumas enchentes localizadas), o povo brasileiro ficou chocado com dois fenômenos físicos de enorme devastação: o furacão Katrina e a onda Tsunami. Alguma discussão também aconteceu em 2005 na comunidade científica sobre a categoria de certos fenômenos meteorológicos no sul do país. Os furacões já são bem conhecidos do público porque assolam a cada ano a costa leste americana, o Golfo do México e países caribenhos e são bem cobertos pela mídia. O maremoto gigante, além de causar consternação geral, foi alvo de curiosidade pelo desconhecimento não só do público letrado, mas por professores e mesmo cientistas de áreas não correlatas. Marcus Lacerda mostra no artigo publicado neste número que o fenômeno pode ser compreendido através de conceitos usuais da física ondulatória. Um belo exemplo para a inserção de física contemporânea em nossas escolas.

O garoto Peter, em 1947, em carta a Albert Einstein indaga: “Eu gostaria muito se você me dissesse o que é o *Tempo*, a alma e os céus”. Não se sabe o que Einstein respondeu acerca da alma e dos céus, mas com relação ao tempo, a resposta estava na introdução do artigo da relatividade especial

e na origem da teoria como expressou na sua mensagem ao amigo Michele Besso: “Obrigado! Resolvi completamente o problema. Uma análise do conceito de tempo é a solução”. Jean Piaget introduz seu livro *A Noção de Tempo na Criança* (1946) com um agradecimento especial: “Esta obra nasceu de uma sugestão de Albert Einstein”. A questão a ser investigada seria se a noção subjetiva do tempo era primitiva ou derivada e, portanto, associada à velocidade, como Einstein acreditava. Neste contexto, os leitores vão se deliciar com os *Diálogos sobre o Tempo* produzidos por André Ferrer Martins que sugiro sejam discutidos em sala de aula.

Na celebrada seção *Figuring Physics* da revista *The Physics Teacher* de janeiro de 2000, Paul Hewitt (autor do *Física Conceitual*) perguntava qual dos blocos da figura abaixo atingia primeiro o chão. A resposta (bloco B) causou grande agitação e ceticismo entre os leitores da revista que encaminharam uma enxurrada de cartas ao Editor. O problema havia sido resolvido de modo convincente tanto teórica quanto experimentalmente no artigo de Kagan e Kott intitulado *A aceleração maior do que g de um bungee jumper* (que alguns chamam de ioiô humano!) no número de setembro de 1996 da mesma revista. Meus estudantes ficam muito surpresos e curiosos quando abordo esta situação-problema na disciplina introdutória de Mecânica. Neste número, Fernando Lang e Rolando Axt usam material de baixo custo (espirais de encadernação, *molasses malucas*) e uma câmara digital para analisar o movimento do sistema em queda livre e concluir que acelerações maiores que a da gravidade são facilmente atingidas nesses sistemas.



“A educação é o que resta depois que se esquece tudo que se aprendeu na escola”. O dito foi assumido por Einstein em seu artigo *Sobre a Educação*. Apesar do tom cáustico, Einstein dava enorme importância ao papel da educação na formação do indivíduo e da construção de uma sociedade mais justa e igualitária. Para fechar o Ano Internacional da Física, Cleide e Alexandre Medeiros analisam a concepção do genial cientista sobre a educação.

Duas figuras ilustres da Física no Brasil ilustram a nossa seção de História. O talentoso físico experimental César Lattes, um dos descobridores do méson  $\pi$ , de quem nos despedimos com grande pesar neste ano é biografado por Cássio Leite Vieira. Silvio Salinas resgata o papel de Gleb Wataghin nas origens da USP, setenta e um anos atrás.

*Nelson student*

## Carta dos Leitores

Li com muito gosto o artigo “A Física nas Transmissões Esportivas: Uma Mecânica de Equívocos”, de autoria de Alexandre Medeiros (Física na Escola v. 5, n. 1, maio de 2004). É um texto de leitura muito agradável, de grande valia para aqueles que se interessam pela Física do dia-a-dia, aquela que se ensina e se aprende nas escolas básicas. Aliás é também o caso de outros bons textos que já li do mesmo autor. Meus cumprimentos tanto ao autor quanto à revista pela sua publicação. Já que o título menciona “equívocos”, de minha parte vou aqui colocar em discussão alguns equívocos que aparecem no texto, especificamente no quadro intitulado “Entenda as quadras de tênis”.

O assunto é dividido em três casos, a jogada sem *spin* em que a bola não gira, o *backspin* e o *topspin*. Em todos os casos, vou assumir duas simplificações. Primeiro, a bola é suficientemente pequena e veloz para que sua energia de rotação possa ser ignorada frente à energia cinética de translação. Em outras palavras, no que se refere à energia, a bola pode ser considerada um ponto material sem dimensões. Segundo, a colisão com o solo é instantânea e elástica; não há dissipação de energia. Essas duas hipóteses não são exatamente verdadeiras na prática, mas são suficientes para a análise mais simples do fenômeno que pretendo apresentar aqui.

Começamos analisando o caso mais simples, a jogada sem *spin*. Durante a colisão, a força que o solo exerce sobre a bola é vertical (a popular força normal). Como não há componente horizontal desta força, a componente horizontal da velocidade da bola se mantém a mesma, de antes para depois da colisão. A componente vertical, por outro lado, é invertida: apontava para baixo antes da colisão, e aponta para cima depois. Na colisão elástica, também não muda o módulo da velocidade. Portanto, tudo

se passa como se a bola fosse refletida pelo solo, tal e qual um raio luminoso que incide em um espelho plano. Conhecendo-se a direção do movimento da bola antes de colidir com o solo, a maneira mais simples de descobrir sua trajetória depois da colisão é fazer a clássica construção da óptica geométrica; ângulo de reflexão igual ao de incidência. A direção inicial é simétrica à direção final, em relação à direção vertical da força.

Na jogada *backspin*, a bola é impulsionada para a frente ao mesmo tempo em que seu ponto de contato com a raquete é arrastado para baixo. A bola sai girando. Ao colidir com o solo, o ponto mais baixo da bola empurra o solo para a frente, devido ao giro. Como reação, o solo empurra a bola para trás, além da força normal já presente no caso sem *spin*. A força total que o solo exerce sobre a bola não é mais vertical, agora é inclinada para trás. A simetria entre as trajetórias inicial e final da bola se refere agora a esta direção inclinada para trás. Portanto, no *backspin* a bola sai do solo em uma trajetória acima daquela correspondente à ausência de *spin*, ao contrário do que se vê na figura do artigo publicado. Em casos extremos, a bola pode até mesmo voltar para trás, jogada mortal para o adversário.

Na jogada *topspin* ocorre o oposto: além de impulsionar a bola para a frente, a raquete arrasta o ponto de contato da bola para cima. Esta sai girando no sentido contrário do caso anterior. Ao tocar o solo, a bola empurra o solo para trás, e é empurrada para frente. A força total é inclinada para a frente, e deve-se fazer a reflexão da direção incidente em relação a esta direção inclinada para frente, para determinar a trajetória final da bola. Como consequência, depois de tocar o solo a bola sai rente ao chão, quase rasteira, ao contrário do que se vê na figura publicada.

No texto explicativo também há

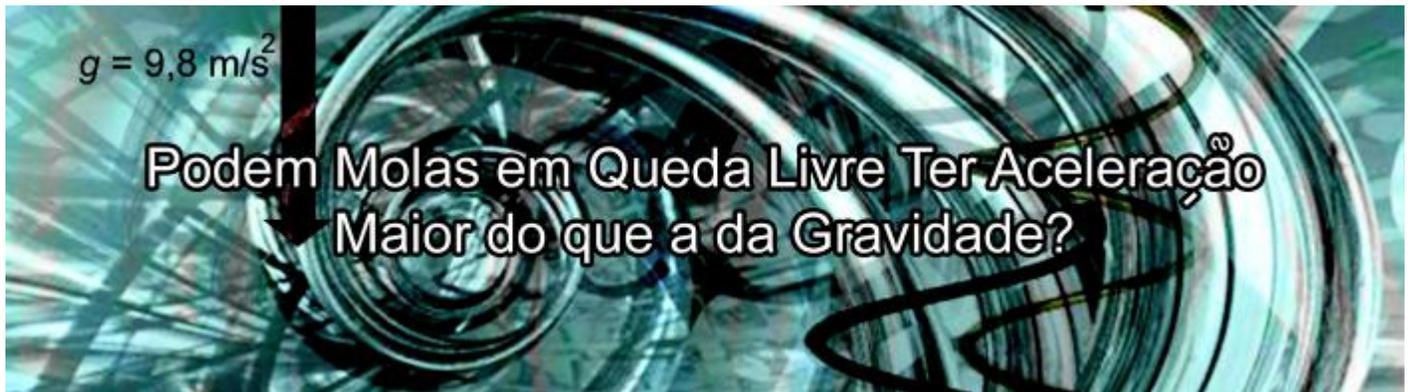
equívocos. A bola não sofre uma redução de velocidade no caso *backspin*. Ao contrário, o torque sobre ela exercido pelo solo diminui a sua rotação. A energia perdida nesta rotação se transfere para a translação, fazendo com que sua velocidade aumente de antes para depois da colisão. No *topspin* ocorre o mesmo. Porém, esta análise já está fora de nossa primeira premissa simplificadora, assim como também está fora do âmbito da Física que se ensina e se aprende nas escolas básicas. Da mesma forma, o caso do piso de grama envolve uma análise bem mais complicada, em particular a colisão não pode ser considerada instantânea nem elástica, como admitimos em nossa segunda premissa simplificadora: a grama mole se deforma e absorve parte da energia incidente, a bola se arrasta no solo durante algum tempo.

Paulo Murilo Castro de Oliveira  
Instituto de Física/UFF

### Resposta do autor

Agradeço ao colega professor Paulo Murilo a gentileza das suas palavras a respeito dos meus artigos. Creio que a crítica é parte inerente da Ciência, e neste sentido as suas críticas e correções ao meu texto sobre a “Física Alternativa dos Esportes” me pareceram muito pertinentes e construtivas. É desse modo, com um espírito aberto e com uma troca sincera de idéias e de críticas construtivas que todos os colegas podem ajudar a construir uma revista cada vez melhor para os nossos leitores.

Alexandre Medeiros  
alexandre@scienco.com.br



## Introdução

**D**e acordo com as Leis de Newton o movimento descrito pelo centro de massa de um corpo - seja ele rígido ou não -, ou de um sistema formado por diversos corpos, depende apenas das forças externas sobre ele exercidas. Se um corpo estiver sujeito a um campo gravitacional externo uniforme, tal como o campo existente nas proximidades da superfície da Terra, e se ele estiver livre de outras ações externas, o seu centro de massa é acelerado verticalmente para baixo à razão de  $9,8 \text{ m/s}^2$  em cada segundo, aproximadamente. Entretanto, se esse corpo não for rígido, é possível que existam interações entre as partes que o compõem. Então, enquanto o seu centro de massa descreve efetivamente um movimento de queda livre, algumas partes do corpo podem estar sofrendo acelerações maiores ou menores do que a aceleração da gravidade. A seguir descrevemos uma situação em que tal possibilidade se apresenta.

## Uma mola helicoidal em queda livre

As imagens da Fig. 1 mostram duas fotos sobre o movimento de queda livre de uma bola de mini-snooker e de uma *mola maluca* de plástico. Na Foto 1 a bola e a mola encontram-se em repouso, ambas sustentadas pelas mãos de um experimentador. Observa-se que o espaçamento entre os elos adjacentes da mola não é uniforme, evidenciando que as forças elásticas, internas à mola, aumentam de baixo para cima.

A Foto 2 apresenta um instante das quedas simultâneas da bola e

da mola. A tomada dessa foto foi feita quase que imediatamente depois de os dois objetos terem sido soltos. Observando as posições da bola em cada foto da Fig. 1, concluímos que ela cai aproximadamente 30 cm (3 decímetros na régua que aparece nas fotos) e considerando que sua aceleração seja a da gravidade ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ), estimamos o tempo de queda em cerca de  $\frac{1}{4} \text{ s}$ .

Comparando-se as Fotos 1 e 2 percebe-se que, no mesmo intervalo de tempo em que a bola caiu 30 cm, o deslocamento do elo superior da mola foi de aproximadamente 90 cm, o que implica uma queda com acele-

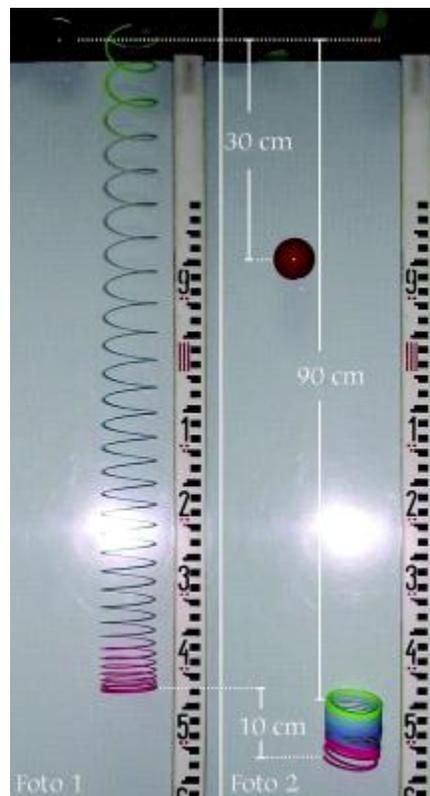


Figura 1. Posições da bola e da mola, em repouso (Foto 1) e em queda livre (Foto 2).

.....  
**Fernando Lang da Silveira**

Instituto de Física  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
 E-mail: lang@if.ufrgs.br.

.....  
**Rolando Axt**

Departamento de Física, Estatística e Matemática  
 UNIJUÍ

.....

Na queda livre de uma mola podem acontecer acelerações muito diferentes da aceleração gravitacional em regiões diversas da mola. Mostra-se que, surpreendentemente para a nossa intuição, ao se iniciar a queda livre de uma mola, uma das suas extremidades permanece em repouso durante algum tempo enquanto a outra extremidade desce com acelerações maiores do que a aceleração gravitacional. Acelerações maiores do que a da gravidade ocorrem também no *bungee jumping*.

ração média de cerca de  $30 \text{ m/s}^2$ ! Enquanto isso, o elo inferior da mola se deslocou apenas cerca de 10 cm, o que significa que a sua aceleração média ficou em torno de  $3 \text{ m/s}^2$  (o leitor poderá conferir esses valores nas fotos com uma régua).

### Forças e acelerações após a liberação da mola

Na Fig. 2 estão representados alguns elos da extremidade superior da mola bem como as forças exercidas sobre o elo superior (mostrado em destaque) quando (i) a mola ainda está suspensa e (ii) imediatamente após sua liberação.

Na situação de equilíbrio em que a mola se encontra inicialmente, são exercidas três forças sobre o elo superior: a força realizada pelo experimentador que mantém presa a mola, o peso do elo e uma força elástica para baixo que o restante da mola, que pende do primeiro elo, exerce sobre ele. Essa força elástica possui a mesma intensidade do peso de todos os elos que se encontram abaixo do primeiro elo. Portanto, na mola da Fig. 1, que possui 32 elos, a força elástica sobre o elo superior tem o mesmo valor do peso dos 31 elos a ele suspensos.

Quando a mola é liberada para cair, a força exercida para mantê-la presa deixa de existir. Imediatamente após a liberação, como as deformações na mola ainda são idênticas às da mola em equilíbrio, as forças elásticas possuem as mesmas intensidades que

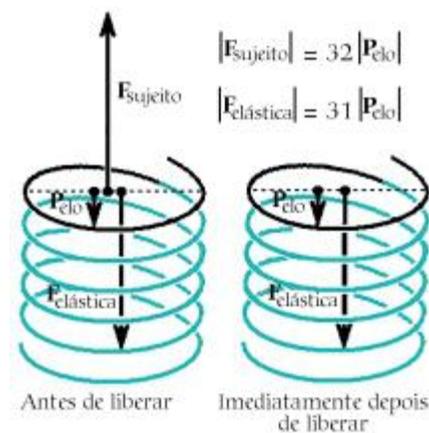


Figura 2. Forças aplicadas ao elo da extremidade superior da mola antes de liberá-la e imediatamente depois.

tinham na mola antes que ela fosse solta. De acordo com a Fig. 2, o elo superior da mola fica então sob a ação de duas forças para baixo: o peso do próprio elo e a força elástica. Como a força elástica tem a intensidade do peso de 31 elos, somando a este valor o peso do próprio elo, concluímos que a intensidade da força resultante sobre o elo superior é 32 vezes maior do que o peso dele. Assim sendo, imediatamente após a liberação da mola, a resultante das forças sobre o elo superior é muito grande em comparação com o próprio peso do elo. Na situação da Fig. 1, essa força produzirá no elo superior uma aceleração inicial 32 vezes maior do que a aceleração da gravidade!!!

Generalizando para uma mola com  $N$  elos, é fácil se concluir que aceleração inicial do elo superior, imediatamente após a mola ser solta para cair, é  $N$  vezes maior do que a aceleração gravitacional. Em seguida, como a força elástica exercida sobre o elo superior começa a diminuir, a aceleração desse elo também se reduz.

A Fig. 3 destaca a parte inferior restante da mola e as forças que sobre ela são exercidas.

Antes de se soltar a mola, a parte suspensa ao elo superior, composta de 31 elos, está em equilíbrio sob efeito de apenas duas forças de mesma intensidade, o peso e a força elástica. Imediatamente após a liberação da mola, as deformações ainda não se alteraram e, portanto, a força elástica sobre a parte inferior restante continua sendo exercida com a mesma intensidade equivalente ao peso de 31 elos. Assim, imediatamente após a liberação da mola, a parte inferior restante ainda não possui aceleração, encontrando-se pois em repouso.

As deformações na mola, e portanto as forças elásticas, se reduzem gradativamente de cima para baixo, elo após elo. Então, à medida que isso acontece, os elos sucessivos, a começar pelos de cima, são acelerados. Ou seja, transcorrerá algum tempo, mesmo que muito pequeno, até que o último elo inicie a descida.

Olhando-se a mola como um todo, esse efeito atribuído às forças exercidas sobre os elos individuais implica que a ponta inferior da mola, quando o

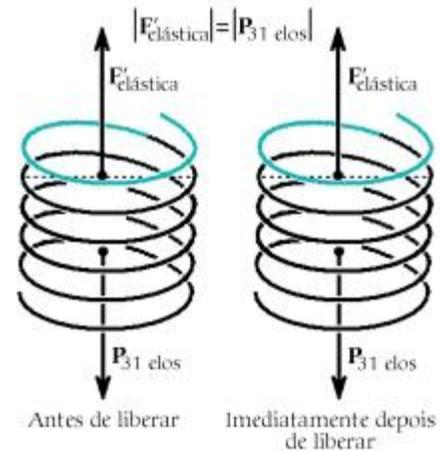


Figura 3. Forças aplicadas ao restante da mola antes de liberá-la e imediatamente depois.

centro de massa (CM) começa a cair, “paire” estático por algum tempo, enquanto a parte superior experimenta uma aceleração inicial muito maior do que a aceleração da gravidade, mas esses dois efeitos ocorrem sempre de um modo tal que a aceleração do CM da mola seja idêntica à aceleração gravitacional, como deve ser de acordo com as Leis de Newton.

### Efeito da adição de massa ao elo superior da mola

As fotos da Fig. 4 mostram uma mola diferente da mola da Fig. 1. Na parte de baixo da mola diversos elos foram unidos entre si com fita adesiva.

As Fotos 1 e 2 nos permitem analisar o movimento do elo superior da mola. Nas Fotos 3 e 4 foi adicionado a esse elo um objeto rígido de plástico. Desta forma, pode-se comparar a queda da mola e da bola em duas situações nas quais as massas da extremidade superior não são iguais. Observamos nas Fotos 2 e 4 que a bola caiu quase pela mesma altura nos dois casos que estamos analisando. A situação, contudo, é bem diferente para o movimento da extremidade superior da mola. O deslocamento dessa parte é flagrantemente menor quando há mais massa para ser acelerada (19 cm na Foto 4 contra 47 cm na Foto 2). Isso se explica pelo fato de que, nesse movimento inicial de descida, a força resultante sobre a extremidade superior é a soma do peso dessa extremidade com a força elástica inicial. Como esta última permanece

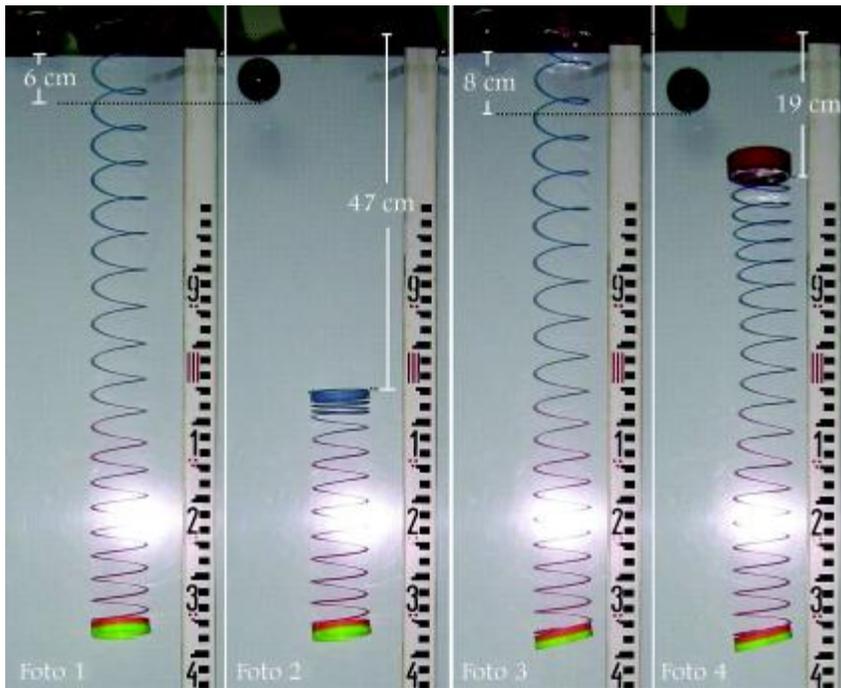


Figura 4. Molas com massas diferentes na extremidade superior.

inalterada nos dois casos em consideração, na situação da Foto 4, o aumento de peso causado pelo acréscimo de massa, e o conseqüente acréscimo no valor da força resultante, não é suficiente para compensar o efeito inercial do acréscimo de massa à extremidade superior da mola. Em outras palavras, o acréscimo da massa determina um incremento maior na inércia da extremidade superior da mola do que aquele que acontece na força resultante e, como decorrência, a aceleração é menor.

Analisando as Fotos 1 e 2, o próprio leitor facilmente poderá estimar a aceleração média, em relação à régua graduada, da parte superior da mola (elo superior) em quase 8 vezes o valor da aceleração gravitacional! Como os intervalos de tempo de queda são os mesmos para a mola e a bola, a razão entre as acelerações médias é igual à razão entre os deslocamentos, portanto,  $47/6 = 7,8$ . Refazendo o mesmo cálculo nas Fotos 3 e 4, o leitor concluirá que o valor da aceleração da extremidade superior da mola (ou seja, do elo colado ao corpo rígido) cai para apenas 2 vezes o valor da aceleração

da gravidade (a razão entre os deslocamentos é  $19/8 = 2,4$ ).

O mais surpreendente para a nossa intuição é que, tendo já se iniciado a queda livre do CM da mola, a parte inferior possa permanecer em repouso durante algum tempo para só depois começar a descer com aceleração crescente e que, enquanto isso, a extremidade superior da mola esteja descendo com uma aceleração inicial muito maior do que a aceleração da gravidade!

**No bungee jumping a pessoa que salta sofre já ao iniciar a queda acelerações maiores do que a aceleração gravitacional, pois o cabo abaixo dele está tensionado antes do salto**

### Considerações finais

As acelerações na parte superior de molas em queda livre com características elásticas e mecânicas diferentes das molas utilizadas neste trabalho podem ser ainda maiores do que as registradas na Fig. 4. As fotos da Fig. 5 permitem fazer a comparação entre a queda livre de uma *espiral de encadernação* (utilizada como mola e tensionada por um corpo de 100 g na sua extremidade inferior) e a queda livre de um bloco de madeira. Um papel enrolado foi enfiado na extremidade superior da espiral. Observa-se que esse papel somente não saiu de dentro da

mola porque a alça superior da mola o conteve. Esse efeito se deve à enorme aceleração da extremidade superior, estimada em 40 vezes o valor da aceleração gravitacional!! Enquanto isso acontece na parte superior da mola, o “peso” suspenso a ela permanece praticamente parado!!

Em molas de aço, inicialmente tensionadas por corpos a elas suspensos, poderão ocorrer acelerações ainda maiores do que as observadas na *espiral de encadernação*.

Existem outros sistemas nos quais ocorrem acelerações maiores do que a da gravidade devido a forças elásticas internas a eles. Por exemplo, no *bungee jumping*, esporte no qual uma pessoa salta de lugares altos com um longo cabo elástico (denominado *bungee*) preso aos seus pés. A pessoa que salta sofre já ao iniciar a queda acelerações maiores do que a aceleração gravitacional. Esse efeito se deve a que o cabo que pende abaixo dela está tensionado antes do salto e, assim, a pessoa começa a queda sob o efeito do seu peso e da força elástica que também a puxa para baixo.

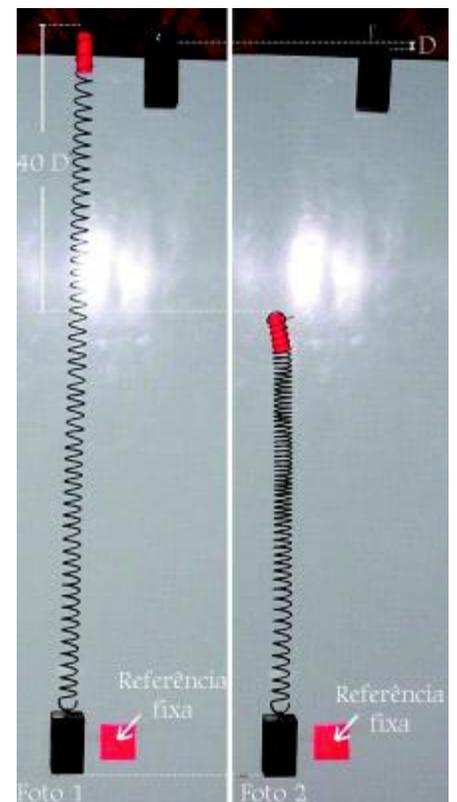


Figura 5. Na Foto 1 uma *espiral de encadernação* (tensionada por um “peso”) e um pequeno bloco de madeira estão em repouso. Na Foto 2 ambos estão em queda livre.



# Tsunami: Que Onda é Essa?

.....  
**Marcus Lacerda Santos**  
Instituto de Física  
Universidade de Brasília  
e-mail: marcus@fis.unb.br  
.....

## Motivação

**A**s ondas gigantes que se abateram sobre países asiáticos banhados pelo Oceano Índico (Fig. 1) no dia 26 de dezembro de 2004 chamaram a atenção do mundo pela devastação e o número extraordinário de vidas humanas perdidas, superior a 280 mil, segundo recontagem recente [1]. Tal desastre também despertou interesse para o fenômeno tsunami. O termo, formado pela junção das palavras japonesas para “onda” - tsu - e “porto” - nami [3], descreve uma série de ondas marítimas geradas por qualquer distúrbio brusco que cause um deslocamento vertical em larga escala da água dos oceanos. A maior parte das tsunamis é gerada por maremotos, como no caso focalizado aqui. Mas tsunamis também podem ser causadas por erupções vulcânicas, deslizamentos de terra e impactos de meteoros [4].

Naturalmente, várias questões científicas vieram à tona no noticiário da época, destacando-se especialmente aspectos geofísicos (terremotos, maremotos). No tocante a questões propriamente de Física, a mídia impressa geralmente limitou-se a “jogar” alguns números, tais como, “o maior abalo sísmico desde 1964, que liberou energia equivalente a 37 mil bombas de Hiroshima” [5], “velo-

cidade das ondas de 800 km/h” [6], etc.

Se o grande público aceita essa numerologia, em um misto de deferência e indiferença, tal certamente não é o caso do leitor dessas linhas. Para este, estudante, professor, ou simples interessado em Física, um tal festival de números desacompanhados de explicações tende a se tornar fonte perene de dúvidas, perplexidade e aflições, senão de *stress*, queda de cabelos e outros males!

O presente artigo tenta jogar uma luz no assunto, visando esse público alvo. Não sendo o autor, contudo, um especialista, não poderá oferecer mais

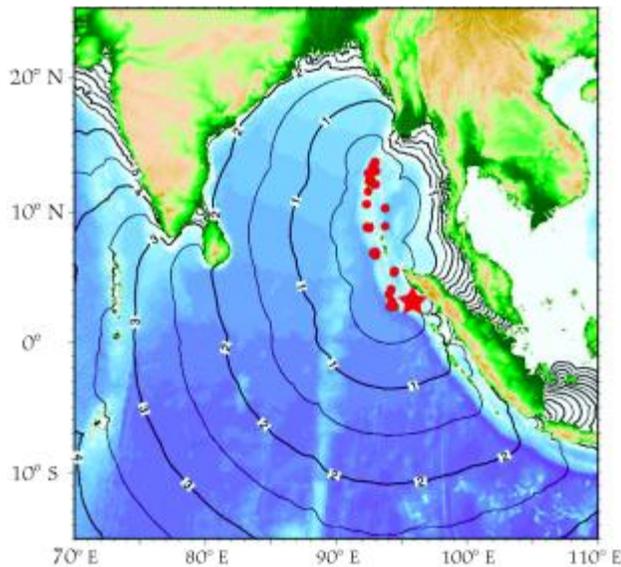


Figura 1. Mapa da região do Oceano Índico varrida pelas ondas gigantes em 26/12/2004. A estrela marca o epicentro do terremoto de Sumatra-Andaman. Os pontos (círculos) localizam tremores secundários ocorridos nas 24 h subsequentes (*aftershocks*). Os pontos com alinhamento externo (*i.e.*, voltados para o alto-mar) esboçam a fronteira entre placas tectônicas, ao longo da qual se deu a ruptura causada pelo terremoto. Os pontos internos ajudam a caracterizar a largura da região de subdução das placas. Números representam o tempo de viagem da tsunami, em horas (AIST, Japan [2]).

Este pequeno artigo visa ajudar o estudante a compreender um pouco do fenômeno tsunami, à luz de conceitos básicos da física geral, ondulatória e de fluidos.

que um paliativo para os males descritos acima, o que consistirá em: usar sua visão de físico para resumir e interpretar, em termos de modelos simples, uma espécie de “diário de bordo” que foi redigindo, à medida em que navegava pelo ciberespaço das inúmeras páginas da internet surgidas na época sobre o assunto. Algumas delas constam da lista de referências, assim como publicações mais recentes.

O artigo é organizado, após a presente introdução, em seções focalizando o maremoto e as ondas gigantes, nas quais procurou-se desenvolver estimativas numéricas usando conceitos de física básica aplicáveis ao problema. Para além do assunto em si, deseja-se mostrar ao estudante a utilidade de cálculos de ordem de grandeza, à condição de que os mesmos sejam guiados por uma busca persistente de consistência e razoável concordância com as observações.

## O maremoto

Como terremotos geram tsunamis? Tsunamis podem ser geradas quando o fundo do mar é brutalmente deformado, deslocando verticalmente a coluna d'água que repousa acima dele [3]. Grandes movimentos verticais da crosta terrestre podem ocorrer nas fronteiras entre placas tectônicas, ou seja, nas chamadas falhas geológicas. Ao longo das margens do Oceano Pacífico, por exemplo, placas oceânicas mais densas deslizam sob placas continentais, em um processo conhecido como subdução. Terremotos de subdução são particularmente efetivos na geração de tsunamis. De fato, foi o que ocorreu no terremoto de magnitude 9,1 na escala Richter do dia 26 de dezembro de 2004, com epicentro ao largo da ilha de Sumatra, na Indonésia. Medidas e modelos computacionais [1, 7] demonstraram que a Placa Indiana deslizou cerca de 20 m sob a Placa da Birmânia. A energia irradiada pelo terremoto, medida através das ondas sísmicas [8], foi de  $E_R = 1,1 \times 10^{18}$  J.

**Como terremotos geram tsunamis? Tsunamis podem ser geradas quando o fundo do mar é brutalmente deformado, deslocando verticalmente a coluna d'água que repousa acima dele**

Para expressar essa energia em termos daquela liberada pela bomba de Hiroshima (12,5 kilotons) [9], usamos o fator de conversão [10] 1 kiloton =  $4,2 \times 10^{12}$  J. Portanto, a energia liberada pelo abalo sísmico equivale a algo como 21.000 bombas de Hiroshima.

O terremoto de Sumatra-Andaman teve sua magnitude recentemente revista para 9,3, e além de ser considerado o maior evento sísmico dos últimos 40 anos, provocou a tsunami mais devastadora de que se tem registro na história [1]. Outra característica inédita: trata-se do terremoto de maior duração já registrado [11, 12].

## Tsunami: Geração e energia

Compreender o processo de subdução é importante, se quisermos estimar a parcela da energia liberada pelo terremoto para desencadear as ondas gigantes. Considerando inicialmente dados divulgados pela imprensa, lemos o seguinte na ocasião [6]: “A 9000 m de profundidade no Oceano Índico, a Placa Indiana deslocou-se sob a Placa da Birmânia. O movimento provocou uma súbita elevação de 15 m no leito do oceano em uma extensão de milhares de quilômetros quadrados”. Essa notícia, bem como a de outras matérias citadas, contém razoável dose de acerto, considerando-se a dinâmica jornalística. Mas não serve a nossos propósitos, devido a imprecisões de natureza quantitativa.

Por exemplo, para começar precisamos avaliar essa área. Também o valor mencionado para a elevação vertical (*uplift*) do assoalho marítimo é para ser tomado mais como um valor de pico. Valores médios situam-se por volta de 4 m, para a metade sul da falha, ou então 2 m, se considerarmos seu comprimento total, de cerca de 1300 km [8, 13, 14]. Entretanto, conforme pesquisas recentes demonstraram [14, 15], somente a metade sul desse comprimento, isto é,  $L = 650$  km, contribuiu de fato para gerar a tsunami, em função da dinâmica do movimento de placas, como

se discutirá logo a seguir. Multiplicando esse valor de  $L$  pela largura  $W$  de aproximadamente 150 km, segundo as mesmas fontes, obtemos para a área da zona de subdução o valor  $A = 9,7 \times 10^{10}$  m<sup>2</sup>.

Na metade sul o deslizamento ocorreu em um tempo comparável ao tempo de ruptura, definido por  $\tau_r = L/v_r$ , onde  $v_r$  é a velocidade com que a ruptura se propagou ao longo da falha. O valor médio dessa velocidade é 2,7 km/s [14], de onde se conclui que  $\tau_r$  vale cerca de quatro minutos. O que é importante enfatizar para o leitor nesse ponto é que, não apenas o *uplift* de 4 m, mas também a sua ocorrência em um tempo curto, permitem explicar o desencadeamento da tsunami, praticamente limitado à parte sul da falha. Repare que o *uplift* inferior a 2 m em média, ocorrido na metade norte, não seria em si desprezível a esse efeito, não fosse pela enorme lentidão com que se deu, literalmente se arrastando ao longo de meia hora [14].

Figuras genéricas que explicam o movimento de placas tectônicas podem ser vistas em algumas páginas da internet [16]. Com relação ao terremoto de Sumatra-Andaman, mapeamentos detalhados (*i.e.*, imagens computacionais baseadas em dados sísmicos), são comuns para *slip* (ou deslizamento, *i.e.*, deslocamento horizontal) [17, 18], mas não para *uplift*. Para esse último, que realmente importa na geração de tsunamis, os dados mais atualizados disponíveis parecem ser os dos artigos citados acima [15], embora dados parciais possam ser vistos na internet [17].

## Energia potencial

Estamos agora em condições de estimar a energia potencial  $U = mgd/2$  [19] associada à tsunami, por efeito do levantamento da massa de água situada sobre a região retangular de área  $A = LW$  no fundo do oceano. Esse empuxo corresponderia à elevação de um bloco de água acima do nível médio do mar, bloco este possuindo espessura  $d$  e volume  $V = Ad$  [20]. Substituindo os números obtidos acima, chegamos a  $V \approx 3,9 \times 10^{11}$  m<sup>3</sup>.

Multiplicando  $V$  pela densidade da

água ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ ), obtemos para a massa,  $m \approx 3,9 \times 10^{14} \text{ kg}$ . Inserindo na fórmula  $mgd/2$ , onde  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ), e  $d$  é o deslocamento vertical médio de 4 m, chegamos a  $U \approx 7,6 \times 10^{15} \text{ J}$ .

Naturalmente, pode-se argumentar que falta incluir a contribuição da energia cinética, mas essa é muitos milhares de vezes menor, como se verá a seguir.

### Energia cinética

Dissemos anteriormente que houve também deslocamento lateral de placas (*slip*), e que ele atingiu valores máximos superiores a 10 m. Adotando 5 m para o valor médio, e dividindo por  $\tau_r$ , chega-se a  $v_{lat} \approx 2,1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ . A velocidade vertical é um pouco menor,  $v_{vert} \approx 1,7 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ . Substituindo na expressão da energia cinética  $1/2 mv^2$ , onde  $v^2$  é calculada somando-se os quadrados de  $v_{lat}$  e  $v_{vert}$ , obtemos  $1,4 \times 10^{11} \text{ J}$ , um valor irrisório diante da energia potencial.

Portanto, nossa estimativa para a energia da tsunami corresponde praticamente à energia potencial calculada acima. Embora resultado de uma estimativa grosseira, esse valor é menos que o dobro do valor aceito de  $E_{tsu} = 4,2 \times 10^{15} \text{ J}$  [8]. Vemos que a energia da tsunami, a despeito do enorme poder destrutivo que mostrou possuir, corresponde a apenas cerca de 0,5% da energia irradiada pelo terremoto,  $E_R$ , mencionada anteriormente. Note, contudo, que também aquela energia é apenas uma pequena fração da energia “intrínseca” do terremoto, o que nos permite vislumbrar um pouco da complexidade que cerca a energética desses eventos sísmicos.

### Tsunami: A onda

Começando por uma questão básica: o que distingue uma tsunami de uma onda ordinária, produzida por ventos? Reproduzimos abaixo respostas a essa pergunta, provenientes de duas fontes credenciadas:

i) “Após o terremoto, ou outro impulso gerador, uma corrente de ondas simples, progressivas e oscilatórias é propagada por grandes distâncias na superfície do oceano, em círculos que vão ficando cada vez mais amplos, se-

melhantes às ondas produzidas por uma pedra que cai em uma piscina. Em águas profundas, as distâncias entre as ondas são enormes, de 100 km a 200 km, e as alturas das ondas são bem pequenas, de 30 cm a 60 cm. (...) Assim, uma partícula que esteja boiando na água ou um navio em mar aberto sentem a passagem de uma tsunami como insignificantes aclive e declive de apenas 30 cm a 60 cm, durando de cinco minutos a uma hora” (da Enciclopédia Britânica, segundo [6]).

**A energia de uma tsunami, a despeito do seu enorme poder destrutivo, corresponde a apenas cerca de 0,5% da energia irradiada pelo terremoto que a gerou**

ii) “Tsunamis são diferentes de ondas geradas por ventos (...), sendo caracterizadas como ondas de águas rasas, com períodos e comprimento de onda longos. Ondas geradas por ventos que vemos arrebentar em uma praia (...), originadas por tormentas em alto mar, quebrando ritmicamente, uma após a outra, podem ter período em torno de 10 s e um comprimento de onda de 150 m. Uma tsunami, por outro lado, pode ter um comprimento de onda de mais de 100 km e período da ordem de uma hora”(Ref. [3], tradução livre do autor).

Fica portanto claro para o leitor a que se refere o termo “ondas gigantes” quando se fala de tsunamis. Não é, com certeza, a altura da onda na arrebentação. Afinal, uma onda de 12 m de altura, mesmo sendo formidável, seria considerada modesta nas praias consagradas pelos surfistas, no Havaí ou em outras partes. O gigantismo da tsunami, em todos os aspectos, deriva sim do seu extraordinário comprimento de onda. É como se fosse uma enorme onda de maré, embora esse termo, às vezes utilizado pela mídia, seja impróprio, por não ter o fenômeno nada que ver com a atração gravitacional do Sol e da Lua.

### Ondas rasas em mar profundo

Não parece estranho, porém, falar-se em ondas rasas em um mar de até 6000 m de profundidade? Essa questão nos remete a outra, de ordem geral, do significado de grande e pequeno em Física. Grande (ou pequeno)

em relação a que, eis a questão chave que nos auxilia a resolver tais dilemas. No caso, como vimos acima, o comprimento de onda da tsunami,  $\lambda_{tsu}$ , é de tal ordem que nos permite escrever, chamando de  $h$  a profundidade no local,  $\lambda_{tsu} \gg h$ . Ou seja, para ondas tão longas, o mar profundo do oceano (qualquer oceano) seria algo como um espelho d’água raso.

O comportamento de ondas de águas rasas é bem compreendido no contexto da dinâmica de fluidos [21]. Essas ondas movem-se a uma velo-

cidade igual à raiz quadrada do produto da aceleração da gravidade pela profundidade. Ou, em símbolos,

$$v_{tsu} = \sqrt{gh}. \quad (1)$$

O estudante versado em física ondulatória notará que não há dispersão, ou seja,  $v_{tsu}$  não depende de  $\lambda_{tsu}$ . Isso implica na igualdade entre as velocidades de fase e de grupo [22]. Para os menos afeitos a tais tecnicidades, basta saber que  $v_{tsu}$  é, efetivamente, a velocidade com que a energia da onda se propaga. Vemos, pois, que quanto mais profunda a água, mais veloz é a onda. De fato, substituindo os valores reportados [1, 7] para a velocidade da tsunami, de 800 km/h (ou 220 m/s), obtemos a profundidade correspondente de 5000 m, consistente com o valor médio para o Oceano Índico [23].

Finalmente, vale notar que a essa velocidade a onda gigante compete de fato com um avião a jato (como foi alardeado pela imprensa), atravessando o oceano em menos de um dia. Os valores de comprimento de onda da tsunami observados por satélites [24], por outro lado, freqüentemente ultrapassaram 100 km.

Notemos agora que, além de [1],  $v_{tsu}$  deve satisfazer também à equação

$$v_{tsu} = v\lambda_{tsu}. \quad (2)$$

Mas que freqüência é  $v$ ? Antes de responder, repare o leitor que, não sendo a tsunami um fenômeno estacionário (felizmente!),  $v$  não pode ser uma freqüência no sentido usual, mas sim o inverso de algum tempo carac-

terístico,  $\tau$ . Qual? Para tentar responder, substituímos os valores dados acima para  $v_{tsu}$  e  $\lambda_{tsu}$ . O resultado é  $1/\tau \approx 2,2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ , que corresponde a um tempo  $\tau \approx 450 \text{ s}$ , ou cerca de sete minutos, *i.e.*, algo entre o  $\tau_r$  já visto e o tempo total de duração do terremoto (cerca de 10 min, e portanto, da mesma ordem de grandeza).

## Arrebentação

O que acontece quando a tsunami se aproxima da costa? Ao penetrar em águas mais rasas, vemos que a Eq. (1) prevê uma diminuição da velocidade de propagação. Esse efeito, contudo, é mais pronunciado na base da onda, o que desencadeia um movimento do fluido em direção ao topo, que tende a tomar dianteira em relação à base. É o mecanismo usual de arrebentação de uma onda na praia. A diferença, no caso da tsunami, é sua grande velocidade (na retaguarda, e agora também no topo) e volume d'água. Em muitos casos, dependendo da conformação do solo marinho na costa, essa corrente ascendente funciona como um poderoso aspirador, o que explica a tendência de recuo da água do mar numa praia prestes a ser atingida por uma tsunami.

Foi essa a “lição de Geografia”, lembrada com admirável sagacidade pela menina inglesa Tilly, de apenas 10 anos na época, que se encontrava em uma praia da ilha de Phuket, na Tailândia, naquele fatídico 26 de dezembro de 2004. Graças ao alarme dado por ela, ao perceber o recuo anormal do mar, relatando o que aprendera na escola e instando as pessoas a fugirem rápido para lugares mais altos, estima-se que cerca de 100 vidas foram salvas [25].

## Conclusão

Concluindo, vimos neste pequeno artigo uma ilustração de como a aplicação de conceitos básicos da Física, aliados a estimativas de ordem de grandeza feitas sobre modelos simples, podem ser de grande valia na compreensão de fenômenos complexos. No contexto em pauta, isso obviamente contrasta com a enorme massa de dados que alimentam os cálculos geofísicos “profissionais”, provenientes de observatórios sismológicos espalhados pelo globo. Especificamente, no tocante ao fenômeno tsunami considerado, vimos que suas características físicas básicas (energia, comprimento de onda) puderam ser estimadas tendo em conta apenas três escalas de

comprimento ( $L$ ,  $W$ ,  $d$ ) e uma escala de tempo ( $\tau_r$ ) (ou talvez duas, se incluirmos o tempo de duração do terremoto).

Como consideração final, permita-me caro leitor, tecer uma reflexão em um contexto mais amplo. Afinal, esta também é uma publicação formativa, não apenas técnica.

Toda a comparação feita, na mídia e também aqui, com a bomba de Hiroshima, mostra não somente a descomunal disparidade entre as forças da natureza e aquelas colocadas em ação pelo homem. Falamos de 20 mil ou 30 mil bombas de Hiroshima, esquecendo-se de mencionar que uma só, aquela efetivamente lançada pelo homem no final da Segunda Grande Guerra, matou 200 mil pessoas, número comparável ao da tsunami, metade delas em apenas um minuto, e numa área muito menor [26]. Donde se conclui que a estupidez humana ainda supera de longe qualquer cataclisma da natureza.

## Agradecimento

Quero registrar aqui meu agradecimento ao árbitro, que me proporcionou a oportunidade de revisar o artigo após o aparecimento da edição da revista Science dedicada ao assunto.

## Referências

- [1] The U.S. Geological Survey Website, <http://earthquake.usgs.gov/eqinthenews/2004/usslav/> (acess. 8/9/05).
- [2] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan, <http://staff.aist.go.jp/kenji.satake/Sumatra-E.html> (acess. 8/9/05).
- [3] University of Washington, Earth and Space Sciences, <http://www.geophys.washington.edu/tsunami/general/physics/physics.html> (acess. 18/1/05).
- [4] Para uma simulação desse caso hipotético, acessar <http://currents.usc.edu/02-03/06-02/tsunami.html> (acess. 9/9/2005).
- [5] Folha de São Paulo, Cad. Especial, domingo, 9/1/05.
- [6] Veja, ed. 1886 (seção ‘Internacional’), de 5/1/05.
- [7] <http://www.flashespace.com/html/tsunami.htm> (acess. 9/9/05).
- [8] T. Lay *et al.*, Science 308 (2005) 1127.
- [9] U.S. Navy, The Naval War College Review, <http://www.nwc.navy.mil/press/Review/2001/Spring/art1-sp1.htm> (acess. 2/2/05).
- [10] W.D. Smith, 1998, Units, Physical Constants and Data, <http://www.math.temple.edu/wds/homepage/physconstmap> (acess. 2/2/05).
- [11] Apolo11.com (página em português), <http://www.apolo11.com/tsunamiindo nesia2004.php> (acess. 9/9/05).
- [12] <http://www.cnn.com/2005/TECH/science/05/19/sumatra.quake/> (acess. 9/9/05).
- [13] C.J. Ammon *et al.*, Science 308, 1133 (2005).
- [14] R. Bilham, Science 308, 1126 (2005).
- [15] Para um sumário com figuras dos artigos da Science citados, ver <http://www.andaman.org/mapstsunami/2earthquake/2earthquake.htm> (acess. 10/9/2005).
- [16] The U.S. Geological Survey, <http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/sumatraEQ/tectonics.html> (acess. 9/9/05).
- [17] Caltech’s Seismological Laboratory, <http://www.gps.caltech.edu/jichen/Earthquake/2004/aceh/aceh.html> (acess. 9/9/05).
- [18] Istanbul Technical University, <http://www.geop.itu.edu.tr/taymaz/sumatra/> (acess. 9/9/2005).
- [19] Justificativa do fator 1/2: O leitor se lembrará da expressão  $mgh$  para a energia potencial de uma partícula de massa  $m$  a uma altura  $h$  do solo. No caso do bloco de água de altura  $d$ , é preciso considerar uma distribuição uniforme de massa e integrar. O resultado, é como se toda a massa do bloco de altura  $d$  estivesse concentrada em uma placa fina a uma altura  $d/2$ .
- [20] Em princípio se poderia distinguir  $d$ , a altura de uma “corcova” na superfície do mar, de  $D$ , o levantamento no solo do fundo do oceano. No caso em pauta, contudo, o tempo de 4 min é muito curto para que haja um escoamento apreciável da água levantada, e ficamos praticamente com  $d = D$ .
- [21] T.E. Faber, *Fluid Dynamics for Physicists* (Cambridge U.P., Cambridge, 1995).
- [22] F.S. Crawford, *Berkeley Physics Course* (McGraw-Hill, New York, 1965), v. 3.
- [23] <http://indianocean.free.fr/faq.htm> (acess. 23/1/05).
- [24] <http://www.noanews.noaa.gov/stories2005/s2365.htm> (acess. 13/9/05).
- [25] <http://www.estadao.com.br/internacional/noticias/2005/jan/02/22.htm> (acess. 12/9/05).
- [26] The Official Homepage of Hiroshima Peace Memorial Museum, <http://www.pcf.city.hiroshima.jp> (acess. 24/1/05).



# Diálogos Sobre o Tempo

.....  
**André Ferrer Pinto Martins**

Departamento de Educação, UFRN

E-mail: aferrer34@yahoo.com.br.  
.....

**N**a sala dos professores de alguma escola, em algum lugar, três pessoas conversam: um professor de Física, um professor de Português e a diretora da escola. Dialogam acerca dos problemas do ensino, das agruras da profissão, dos desafios cotidianos. O professor de Física, empolgado, está com a palavra...

Professor de Física - Devemos resgatar o prazer que as crianças encontram na escola. Estimular a imaginação, a criatividade e a curiosidade é o nosso papel enquanto educadores. E não apenas das crianças, mas de todos.

*A função criativa da imaginação pertence ao homem comum, ao cientista, ao técnico; é essencial para descobertas científicas bem como para o nascimento da obra de arte; é realmente condição necessária da vida cotidiana... [22, p. 139].*

A escola deve ser também o espaço da brincadeira, do lúdico. Os jogos e brincadeiras resgatam não apenas o prazer, mas a lógica formal e uma série de outras habilidades necessárias ao aprendizado de qualquer disciplina. São, essencialmente, interdisciplinares. E nós necessitamos de práticas interdisciplinares para fugirmos justamente à compartimentalização dos currículos.

Diretora - Você poderia exemplificar melhor, relatar-nos uma atividade que contemple essas idéias?

**A escola deve ser também o espaço da brincadeira, do lúdico. Os jogos e brincadeiras resgatam não apenas o prazer, mas a lógica formal e uma série de outras habilidades necessárias ao aprendizado de qualquer disciplina**

Prof. Fís. - Há algum tempo venho pensando nisso: vocês sabem como o conceito de *tempo*, um dos mais fundamentais da Física, é tratado em um livro didático bastante adotado no Ensino Médio em nossas escolas?

Professor de Português - Nem imagino...

Prof. Fís. - Está aqui, vejam:

*Tempo é uma noção primitiva\* e fundamental na descrição de qualquer movimento.*

\*Noção ou conceito primitivo é uma noção aceita sem definição [21, p. 21].

O que vocês acham?

Prof. Port. - Não diz muita coisa...

Diret. - Parece-me suficiente para a Física.

Prof. Fís. - Talvez para uma visão da Física, mas não para aquela que estamos buscando. A questão do tempo é muito mais complexa, e envolve, em seu sentido mais amplo, outras áreas do conhecimento humano, como a Biologia, a Psicologia, a Filosofia, a História, a Música, a Literatura, o Cinema etc. Eu poderia, por exemplo, começar uma discussão sobre o tempo com meus alunos *chegando atrasado* na aula. Que tal? Passados uns dez minutos após o sinal, eu entraria na sala com uma ampulheta na mão, perguntando-lhes: "essa ampulheta "dura" quanto tempo?", ou: "quantas ampulhetas se passaram desde que tocou o sinal?" Eles provavelmente mediriam o tempo com seus relógios digitais, mas não antes de dizer, por

---

Esse texto, na forma de diálogos, apresenta algumas sugestões para se trabalhar o conceito de *tempo* em aulas de Física do Ensino Médio. Também pretende ser um estímulo à criação de atividades ou projetos interdisciplinares que tenham esse conceito como foco.

simples observação da areia caindo, quanto tempo eles avaliam que dura o fenômeno.

Em seguida, colocaria a seguinte música para eles ouvirem:

*Não me iludo*

*Tudo permanecerá do jeito que tem sido*

*Transcorrendo, transformando,  
Tempo e espaço navegando todos os sentidos*

*Pães de Açúcar, Corcovados*

*Fustigados pela chuva*

*E pelo eterno vento*

*Água mole, pedra dura*

*Tanto bate que não restará*

*Nem pensamento*

*Tempo rei, ó tempo rei, ó tempo rei*

*Transformai as velhas formas do viver*

*Ensinaí-me, ó pai, o que eu ainda não sei*

*Mãe senhora do perpétuo, socorrei*

*Pensamento*

*Mesmo o fundamento singular do ser humano*

*De um momento para o outro*

*Poderá não mais fundar nem gregos nem baianos*

*Mães zelosas, pais corujas*

*Vejam como as águas de repente ficam sujas*

*Não se iludam, não me iludo*

*Tudo agora mesmo pode estar*

*Por um segundo*

*Tempo rei, ó tempo rei, ó tempo rei.*

*Tempo Rei* (Gilberto Gil, CD *Raça Humana*)

Depois eu pediria a eles que redigissem um pequeno texto totalmente livre. Aqueles que o desejassem poderiam ler em voz alta para a classe. Terminaria essa parte da atividade distribuindo aos alunos uma poesia de presente:

**Apostila**

*Aproveitar o tempo!*

*Mas o que é o tempo, que eu o aproveite?*

(...)

*Aproveitar o tempo!*

*Desde que comecei a escrever passaram cinco minutos.*

*Aproveitei-os ou não?*

*Se não sei se os aproveitei, que saberei de outros minutos?!*

(...)

*Aproveitar o tempo!...*

*Ah, deixem-me não aproveitar nada!*

*Nem tempo, nem ser, nem memórias de tempo ou de ser!*

*Deixem-me ser uma folha de árvore, titilada por brisas,*

*A poeira de uma estrada involuntária e sozinha,*

*O regato casual das chuvas que vão acabando,*

*O vinco deixado na estrada pelas rodas enquanto não vêm outras,*

*O pão do garoto, que vai a parar,*

*E oscila, no mesmo movimento que o da terra,*

*E estremece, no mesmo movimento que o da alma,*

*E cai, como caem os deuses, no chão do Destino* [18, p. 112].

Anexaria ainda à poesia algumas das acepções do vocábulo ‘tempo’ encontradas no dicionário:

1. A sucessão dos anos, dos dias, das horas, etc., que envolve, para o homem, a noção de presente, passado e futuro (...). 3. Época (...). 4. As condições meteorológicas (...). 8. Fís. Coordenada que, juntamente com as coordenadas espaciais, é necessária para localizar univocamente uma ocorrência física. 9. Gram. Flexão indicativa do momento a que se refere o estado ou a ação verbal. (...) [7, p. 1660].

Prof. Port. - Muito interessante! Mas o que você quer dizer com “terminaria essa parte da atividade”? Ainda tem mais?

Toca o sinal, mas todos permanecem na sala.

Prof. Fís. - Claro que sim! Continuaria a atividade assim: num outro momento (preferencialmente outro dia) entraria na classe segurando um daqueles relógios grandes, de corda, que fazem um “tic-tac” bem alto. Pediria para que os alunos fechassem os olhos por alguns minutos e, em absoluto silêncio, procurassem se concentrar nesse barulho. Enquanto isso, andaria pela classe e colocaria em cada carteira o seguinte texto:

**Das Ampulhetas e das Clepsidras**

*Antes havia os relógios d’água, antes havia os relógios de areia. O Tempo fazia parte da natureza.*

*Agora é uma abstração - unicamente denunciada por um tic-tac mecânico, como o acionar contínuo de um gatilho numa espécie de roleta-russa. Por isso é que os antigos aceitavam mais naturalmente a morte* [20, p. 61].

Com os olhos novamente abertos, discutiríamos esse texto e a aula anterior. É o momento de retomarmos a música, a poesia, as definições do dicionário, e organizar um debate aberto sobre “o que é o tempo” para os alunos.

Prof. Port. - Acredito que essa discussão tem tudo para ser muito boa. Afinal, diversos aspectos do tema poderiam ser abordados: a percepção “sensorial” do passar do tempo, que está presente nos textos, na experiência com a ampulheta e, principalmente, na experiência cotidiana dos alunos, que a vivenciam certamente. Por que, às vezes, sentimos o tempo passar rapidamente, e outras vezes devagar? É um viés psicológico que pode ser aprofundado, e que deve surgir no debate. O texto do Pessoa já nos remete à questão do “aproveitamento do tempo”, um viés mais social e cultural.

Prof. Fís. - Que está relacionado com o tempo da produção, o relógio de ponto, a fábrica. “Tempos Modernos”...

Prof. Port. - Exato. Em outros textos, como na música do Gil, surge a questão do envelhecimento e da transformação: é o “transcorrer do tempo”.

Prof. Fís. - Que será retomado quando discutirmos a segunda lei da termodinâmica, que de certo modo nos dá um “sentido” para esse transcorrer.

Prof. Port. - O envelhecimento nos remete à morte, que aparece no texto do Quintana. É o tempo da existência, o tempo da vida.

Prof. Fís. - Começamos a adentrar o terreno da mitologia e das religiões. Na mitologia cristã, por exemplo, a morte ganha existência para o homem após a queda do Paraíso “atemporal”. Em diversos rituais celebramos tanto os ciclos da vida como os ciclos da natureza. No constante nascer

e morrer, *atualizados* nessas cerimônias, subjaz fortemente a questão temporal. Seria interessante analisarmos também a tradição oriental, que trabalha com uma visão de “tempo cíclico”, ao contrário da ocidental, onde prevalece a linearidade. Isso sem falar nos mitos de criação e destruição do Cosmos, e da visão científica do *big-bang* que, ao permitir as possibilidades de um Universo “aberto” ou “fechado”, traz para a Ciência a discussão fundamental da *origem* do tempo.

Prof. Port. - Sabem do que eu lembrei? De Platão, Santo Agostinho, e das *antinomias* de Kant... [24] Fale com o professor de Filosofia! Vocês sabiam que os gregos tinham três palavras para o que chamamos ‘tempo’? *Khronos*, relacionado à “duração”, *Kairós*, o “momento oportuno”, e *Aiôn*, que seria como um “jogo de crianças” [2, p. 25]. Todas traduzidas como ‘tempo’. Eles também separavam o “tempo da consciência” do “tempo do êxtase”...

Prof. Fís. - Não sei nada a esse respeito, mas rituais e jogos compartilham uma idéia de “suspensão do tempo”.

*O mesmo verificamos no ator, que, quando está no palco, deixa-se absorver inteiramente pelo “jogo” da representação teatral, ao mesmo tempo que tem consciência da natureza desta* [10, p. 22].

Esse debate dá “pano pra manga”, não é?

Prof. Port. - Pois é. Tudo isso que você está dizendo sugere-me, na verdade, outras atividades interdisciplinares, outras interfaces possíveis. Que tal ressuscitarmos as “saturnais”?

Prof. Fís. - Acho que a Diretora aqui presente não permitiria....

Diret. - Gostei das atividades que você está propondo, mas confesso que, até agora, vi pouca relação com a Física propriamente dita. Eu perguntaria: será que seus alunos teriam compreendido o que é o tempo para a Física?

Prof. Fís. - Certamente que não. Entretanto, isso nem seria um grande problema, se pensarmos que os próprios físicos não o compreendem ple-

namente! A atividade, no entanto, ainda não acabou. A parte “Física” viria realmente agora.

Prof. Port. - Acho que vou embora...

(Risos)

Prof. Fís. - Eu poderia recomeçar apresentando-lhes a “definição” do livro didático que vimos há pouco. Acredito que questionamentos seriam inevitáveis nesse momento, o que não ocorreria se *iniciássemos* toda a discussão com essa citação. Faça isso e verá que, à primeira vista, ela parece perfeita e incontestável. Em seguida, uma tabela (veja abaixo) comparativa ajudaria a dar uma noção da “dimensão temporal” dos fenômenos físicos [9, p. 7][5, p. 78].

A partir daí a minha tentação – quase inevitável! – seria discutir como as civilizações mais antigas começaram a marcar o tempo, através da observação dos astros, e de como isso tinha uma importância capital para a manutenção das mesmas, em função da agricultura. Os ciclos do Sol e da Lua permitiram o surgimento dos primeiros calendários [4]. Aqui haveria muito espaço para se trabalhar a História da Ciência, com pesquisas, trabalhos em grupo e leituras de textos. Uma outra atividade interessante que pode decorrer disso é a construção de um relógio de Sol.

Mas falando em “história” e em “marcação do tempo”, lembrei de Galileu. Em seus experimentos sobre o movimento de queda livre dos corpos, ele usou relógios d’água e o próprio pulso para marcar o tempo. No en-

tanto, se repetirmos hoje certas experiências que ele relata (em condições semelhantes às que ele possuía) não conseguiremos com facilidade tirar dos dados as mesmas conclusões. Galileu foi um gênio da argumentação e do pensamento teórico-abstrato: conseguiu até convencer alguns historiadores de que tirava tudo da experiência! Ele chegou a trabalhar com a hipótese de que a velocidade de queda dos corpos aumentava com o espaço percorrido, e não com o tempo de queda. Essa é uma discussão interessantíssima do ponto de vista da História da Física [14]. Dá para montar boa parte de um curso de mecânica somente com os textos de Galileu...

Prof. Port. - Mas esse tempo *t* das fórmulas da Física surgiu com Galileu?

Prof. Fís. - Está se consolidando justamente nessa época, com a revolução científica do século XVII e a nova mecânica, cujo maior articulador foi Newton. Para ele, o espaço e o tempo são o “sensório de Deus”. O tempo é *absoluto*, e flui uniformemente e sem referência a nenhum objeto exterior. O tempo relativo, aparente e vulgar, nada mais é do que uma medida sensível e aproximada desse tempo absoluto [17]. A perspectiva newtoniana influenciou enormemente a cultura Ocidental, e nossa visão “comum” do tempo. Já Leibniz e Mach irão criticar a visão de um tempo absoluto, afirmando que não podemos medir o movimento de algo com respeito a esse “tempo”, pois o tempo é justamente uma abstração a

Ordens de grandeza da duração de alguns fenômenos.

	Ordem de grandeza (s)
Idade do universo	$10^{17}$
Duração da vida de um ser humano	$10^9$
Um ano	$10^7$
Um dia	$10^5$
Tempo que a luz leva do Sol à Terra	$10^3$
Um minuto	$10^2$
Tempo entre dois batimentos do coração	$10^0$
Um batimento da asa de uma mosca	$10^{-3}$
Duração do impulso de um “laser”	$10^{-9}$
Tempo para o elétron “orbitar” o próton, no átomo de H	$10^{-16}$
Tempo que a luz leva para atravessar um átomo	$10^{-18}$

qual chegamos pela variação das coisas, que estão todas vinculadas entre si.

*Este tempo absoluto não pode ser medido por nenhum movimento, não tem pois nenhum valor prático nem científico; ninguém está autorizado a dizer que sabe algo dele; não é senão um ocioso conceito “metafísico”* [13, p. 190, tradução nossa].

É preciso trazer Newton, Mach e outros para a sala de aula, se quiserem discutir o tempo.

Prof. Port. - Então Newton é o pai da “flecha do tempo”?

Prof. Fís. - Na verdade, não muito... A mecânica é uma teoria reversível temporalmente, suas leis básicas não distinguem  $t$  de  $-t$ . Será a segunda lei da termodinâmica (a entropia de um sistema isolado tende sempre a aumentar) que vai buscar explicar os chamados “processos irreversíveis” que, de certo modo, garantem um “sentido” para o tempo (do passado para o futuro). Sabemos que uma bola que desliza por uma rampa jamais volta, abandonada à sua própria sorte, à mesma altura. Pelo contrário, dissipa sua energia mecânica em calor. Do mesmo modo, um ovo mexido jamais voltará a ser um ovo inteiro. E o interessante é que essa lei é estatística, portanto não se assuste

se você vir uma bola rolando morro acima: isso tem uma probabilidade de acontecer! Essa discussão retoma o caráter de mudança e transformação associado ao tempo, que vimos no início da atividade. “Transformai as velhas formas do viver”... Isso tudo a gente discute quando falar de conservação da energia, termodinâmica etc.

Diret. - Tá legal... Mas e o caráter experimental da Física? Você não o está deixando de lado?

Prof. Fís. - Ôpa, claro que não! Mas antes de fazer uma experiência, eu discutiria com os alunos como funcionam os relógios. A idéia é levar

para a sala três relógios diferentes: uma ampulheta, um relógio de corda e um relógio digital. Como eles funcionam? Qual é o mais preciso? Por quê? São boas questões para uma aula, que pode terminar com uma discussão sobre a definição do segundo no Sistema Internacional de Unidades. Algo mais “experimental”, que pensei, além do relógio de Sol, que já falamos, pode ser a construção de um pêndulo. Forneceria aos alunos o material necessário (esferas de metal de vários tamanhos, fios de nylon, cronômetros, materiais fáceis de arranjar e baratos, e pediria a eles que construíssem um pêndulo de período igual a dois segundos. Não deixa de ser um “jogo”, onde as “regras” são fornecidas pela natureza. Os alunos irão descobrir que o período independe (para pequenas oscilações) da amplitude do movimento e da massa da esfera, o que contraria o “senso comum”. O fator primordial aqui é o comprimento do fio, que deve ser de aproximadamente um metro para obtermos o período desejado. Através desse experimento poderemos discutir alguns pontos da teoria de Galileu sobre o movimento, outros aspectos da mecânica, novamente elementos da História da Ciência (história dos relógios mecânicos e da marcação do tempo), e até a segunda lei da termo-

dinâmica, pois o pêndulo pára... Há ainda um espaço para a formalização, onde a equação

$$T = 2\pi \sqrt{l/g},$$

que relaciona o período ( $T$ ) do pêndulo com seu comprimento ( $l$ ) e a aceleração da gravidade ( $g$ ) pode ser trabalhada [25]. O que ocorreria se transportássemos esse pêndulo para a Lua?

Prof. Port. - Minha cabeça é que já está na Lua! É o ciclo do Sol, o ciclo de oscilação do pêndulo... E os seres vivos também têm os seus relógios internos, né? A Cronobiologia estuda os ritmos biológicos. Quem sabe não

dava pra juntar temas da Biologia aí... Já pensou se nossos relógios internos quebrassem?

Prof. Fís. - Puxa! Ótima questão! Mas talvez fosse melhor pensá-la para os relógios “externos”: vamos imaginar que todos os relógios do mundo quebraram-se, de repente. Como faríamos para nos encontrarmos em um local e hora marcados previamente? Essa atividade retoma toda a discussão sobre a medida do tempo, e pode ser feita dividindo-se a sala em pequenos grupos. Cada grupo apresenta sua solução particular para esse problema da marcação do encontro...

Diret. - E a chamada física moderna, de que você tanto fala? Onde entra?

Prof. Fís. - Bem lembrado. Infelizmente, a física moderna ainda está distante de nossas escolas. A mecânica quântica pode entrar nessa discussão por meio do problema da não-localidade, que diz respeito a uma aparente troca instantânea ( $\Delta t = 0$ ) de informação entre certos sistemas quânticos que interagiram no passado e encontram-se separados por uma grande distância. Também poderia ser abordada a relação de incerteza de Heisenberg, que envolve o tempo e a energia, a idéia de um tempo descontínuo... Já a relatividade nos remete à questão da velocidade da luz, que tem um valor muito elevado, mas finito.

Prof. Port. - A luz das estrelas, então, demora anos para chegar aqui...

Prof. Fís. - ...e é por isso que podemos dizer que olhar para o céu é olhar para o passado: estamos recebendo hoje a luz que foi emitida há anos, séculos atrás. Simultaneamente, chega luz de várias estrelas, convivem em nossos olhos várias “épocas” diferentes. O astrônomo realiza o sonho do historiador: ver o passado acontecendo no presente. Isso tudo porque a informação não é instantânea. Mas a relatividade vai muito além: ela fundiu o espaço com o tempo, criando o *espaço-tempo*. A *simultaneidade* deixa de ser absoluta, pois dois observadores, em referenciais diferentes, podem discordar sobre a simultaneidade de eventos [6]. E o tempo não corre da mesma forma em dois referenciais que se movam, um em relação ao outro, com velocidades

próximas à da luz.

Estou ainda elaborando essa parte de física moderna para minha atividade...

**Diret.** – Confesso que estou bastante admirada!

**Prof. Fís.** – E a palavra precisa ser justamente essa: “ad-mirar”, olhar a realidade criticamente, “mirá-la” de dentro, descobrir as inter-relações entre os fatos e conceitos [8]. Isso tem que valer para a educação. No nosso caso específico, há que se “ad-mirar” o tempo, pois ele é um conceito intrinsecamente interdisciplinar. Revelar essas outras dimensões aos estudantes permitir-lhes-á reelaborar criticamente suas próprias concepções, visto que é no momento em que um conceito muda de sentido que ele tem mais sentido, *é então que ele é, em toda verdade, um acontecimento da conceptualização* [3, p. 51].

**Prof. Port.** – A mensagem então é: unir o *eros* ao *logos*?

**Prof. Fís.** – Você está lembrado daquele diálogo entre um adulto e três crianças, que você mesmo mostrou-me um dia desses? O adulto disse a uma delas:

(...) – *Agora uma pergunta: se vocês pudessem pedir uma coisa pra mudar no mundo, o que vocês*

*queriam que mudasse?*

(Túlio) – *Duas coisas. Que a comida fosse a sobremesa e a sobremesa fosse a comida* [23, p. 39].

Pois é: vamos abrir uma fábrica de sobremesas?

**Diret.** – Para que série você imaginou essa atividade?

**Prof. Fís.** – Poderia ser para o primeiro ano do Ensino Médio. O que você acha?

**Diret.** – Não sei. Os alunos chegam ao primeiro ano sem saber nada de Física, principalmente os que vêm de outras escolas. Tentar transmitir todo esse seu “vasto saber” sobre o assunto não poderia confundi-los, massacrá-los?

**Prof. Fís.** – Mas minha tarefa não é a de *transmitir-lhes* esse conhecimento. *Ao contrário, educar e educar-se, na prática da liberdade, é tarefa daqueles que sabem que pouco sabem – por isto sabem que sabem algo e podem assim chegar a saber mais – em diálogo com aqueles que, quase sempre, pensam que nada sabem, para que estes, transformando seu pensar que nada sabem em saber que pouco sabem, possam igualmente saber mais* [8, p. 25].

**Prof. Port.** – Eu entendo tudo o que você falou como um grande “exemplo”. O tempo é um conceito multidisciplinar, que podemos até usar como

tema de um projeto a ser desenvolvido em um determinado período letivo, em conjunto com os professores das outras disciplinas. Uma espécie de “tema gerador”...

**Prof. Fís.** – Temos que sentar e pensar... O principal é não encarar nada do que falei como uma “receita”, algo totalmente elaborado. Há muito o que ser pensado, e é fundamental trabalharmos em conjunto, estimularmos a nossa criatividade e a dos alunos.

**Prof. Port.** – Poderíamos de fato trabalhar juntos. A sua atividade interdisciplinar envolve-me diretamente. Seria um grande desafio.

**Prof. Fís.** – Há um pequeno livro de ficção, chamado *Sonhos de Einstein* [12]. São várias histórias pequeninas que abordam diferentes visões sobre o tempo. Que tal nos reunirmos semana que vem para discutir melhor essa sua proposta? Trarei o livro.

**Prof. Port.** – Não faltarei.

## Agradecimento

Aos professores Moacyr R. do Valle Filho (em memória) e Hercília T. de Miranda, pela liberdade e pelos devaneios que permitiram a elaboração, há alguns anos, da monografia de final de curso adaptada para esta publicação.

## Referências

- [1] Santo Agostinho, *Confissões*, Coleção Os Pensadores (Abril Cultural, São Paulo, 1980), 2ª ed.
- [2] M.T. d’Amaral, *Sobre Tempo: Considerações Intempestivas*, editado por M. Doctors, *Tempo dos Tempos* (Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 2003).
- [3] G. Bachelard, *O Novo Espírito Científico* (Tempo Brasileiro, Rio de Janeiro, 1985), 2ª ed.
- [4] R. Boczko, *Conceitos de Astronomia* (Edgard Blücher, São Paulo, 1984).
- [5] D. Delizoicov e J.A. Angotti, *Física*, Coleção Magistério Segundo Grau (Cortez, São Paulo, 1991).
- [6] A. Einstein e L. Infeld, *A Evolução da Física* (Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 1980), 4ª ed.
- [7] A.B.H. Ferreira, *Novo Dicionário da Língua Portuguesa* (Nova Fronteira, São Paulo, 1986), 24ª imp., 2.ed.
- [8] P. Freire, *Extensão ou Comunicação?* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1975), 2 ed.
- [9] G. Holton, F.J. Rutherford e F.G. Watson, *Projecto Física – Unidade 1 / Unidade 3* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980).

- [10] J. Huizinga, *Homo Ludens: O Jogo como Elemento da Cultura* (Perspectiva/EDUSP, São Paulo, 1971).
- [11] I. Kant, *Crítica da Razão Pura*, Coleção Os Pensadores, (Abril Cultural, São Paulo, 1980).
- [12] A. Lightman, *Sonhos de Einstein* (Companhia das Letras, São Paulo, 1993), 2ª reimp.
- [13] E. Mach, *Desarrollo Historico-Critico de la Mecânica* (Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1949).
- [14] A.F.P. Martins, e Z. Zanetic, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 149 (2002).
- [15] M. Matthews, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 7 (2001).
- [16] I.C. Moreira, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **19**, 129 (2002).
- [17] I. Newton, *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural (V. I)* (Nova Stella/EDUSP, São Paulo, 1990).
- [18] F. Pessoa, *Ficções do Interlúdio 4 – Poesias de Álvaro de Campos* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1992), 5ª ed.
- [19] Platão, *Diálogos (V. XI – Timeu – Crítias – O 2º Alcibíades – Hípias Menor)* (Editora da Universidade Federal do Pará, Belém, 1977).
- [20] M. Quintana, *Porta Giratória* (Globo, São

- Paulo, 1988).
- [21] F. Ramalho Jr., N.G. Ferraro, e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física – Volume 1* (Moderna, São Paulo, 1993), 6ª ed.
- [22] G. Rodari, *Gramática da Fantasia* (Summus, São Paulom 1982), 7ª ed.
- [23] S.J. Souza, *Infância e Linguagem – Bakhtin, Vygotsky e Benjamin* (Papirus, Campinas, 1996), 3ª ed.
- [24] Platão, no *Timeu*, discute o surgimento do tempo junto com o Universo [19]. Santo Agostinho, em suas *Confissões*, questiona-se a respeito da natureza do tempo, em passagens muito citadas [1]. Já Kant, na *Crítica da Razão Pura*, propõe-se a negar tanto a tese de um tempo infinito quanto a de um tempo finito [11].
- [25] Como mostra Matthews [15], os estudos de Huygens acerca do pêndulo, e sua proposta de adoção do pêndulo de segundos como um padrão internacional de medida de comprimento, fornecem elementos ricos para o trabalho com a História e Filosofia da Ciência em sala de aula, tanto do ponto de vista “internalista” quanto “externalista”. A esse respeito, ver também as críticas de Moreira [16] ao artigo de Matthews.

# Onde Está o Atrito?

## Discussão de Dois Experimentos que Exemplificariam a Lei de Inércia

### Introdução

Neste artigo, discutimos dois experimentos, cuja explicação apresentada em livros didáticos usados no Ensino Médio é uma aplicação imediata da lei da inércia ([1], [2], [3]). Os dois experimentos envolvem a mesma situação física, a qual, na verdade, é mais complicada do que sugerido por essa explicação.

Em um, uma moeda move-se sob uma pilha de moedas e, no outro, um cartão desliza sob uma moeda. Ora, é difícil supor que não haja atrito entre os materiais de que são feitas as moedas e o cartão; como, então, podem esses experimentos serem explicados pela lei da inércia, uma lei que rege o comportamento de massas ou na ausência total de forças ou quando a resultante das forças for zero?

Analisamos a situação física dos experimentos; então propomos que os tempos de interação entre os objetos são bastante curtos para que haja transmissão de quantidade de movimento pelo atrito.

### Os Experimentos

#### Experimento 1

O experimento é ilustrado pelas Figs. 1 e 2.

#### Montagem

Empilha-se 4 moedas de 10 centavos e, na frente da pilha, coloca-se outra moeda de 10 centavos (moeda projétil).

#### Procedimento

Dá-se um “peteleco” na moeda

projétil, de modo que ela colida com a moeda inferior da pilha de moedas (moeda alvo). A velocidade da moeda projétil pode ser aumentada ou diminuída, dependendo do “peteleco”.

#### Observação

Se o “peteleco” for forte (a moeda projétil move-se com velocidade suficientemente alta), a moeda alvo move-se para a frente (presumivelmente com a mesma velocidade da moeda projétil, a qual pára) e as moedas restantes da pilha caem vertical-



Figura 1. Montagem e procedimento. A mão está prestes a dar um “peteleco” na moeda da esquerda (o “projétil”); à direita, a pilha de moedas.



Figura 2. A moeda projétil pára após o choque e a moeda “alvo” recebe “quantidade de movimento”, afastando-se. As demais moedas caem verticalmente.

.....  
**Bruno Castilhos Fernandes, Wilma Machado Soares Santos e Penha Maria Cardoso Dias**  
Instituto de Física  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
.....

Neste artigo são discutidos dois experimentos usados para ilustrar a lei da inércia, em livros didáticos do Ensino Médio. Ora, a situação física nesses experimentos é muito mais complicada e sugere a presença de atrito. Assim sendo, a ligação com a lei da inércia não é imediatamente óbvia. Propomos que os tempos envolvidos nas interações entre os materiais são bastante curtos para que haja transmissão da quantidade de movimento pelo atrito.

mente. Se o “peteleco” for fraco (a moeda projétil move-se com velocidade baixa), as moedas da pilha movem-se para a frente.

### Experimento 2 ([1], [2], [3], [4])

O experimento, é ilustrado pela Fig. 3.

#### Montagem

Coloca-se um copo com a “boca” virada para cima. Apóia-se um cartão telefônico em cima do copo e uma moeda em cima do cartão.

#### Procedimento

Puxa-se o cartão paralelamente à “boca” do copo.

#### Observação

Se o cartão for puxado rapidamente, a moeda cai, verticalmente, dentro do copo. Se o cartão for puxado devagar, a moeda move-se sobre o cartão e não necessariamente cai no copo.

### Questionamento da Explicação Encontrada na Literatura

Livros didáticos de Física para o Ensino Médio dão a seguinte explicação para os experimentos (ou variações deles):

- Em [1] (p. 433): *Por inércia o corpo tende a permanecer em repouso e, com a retirada do papel, ele cai verticalmente.*

- Em [2] (p. 146): *Coloque sobre uma mesa uma folha de papel e sobre esta um livro em repouso. Puxando bruscamente a folha, o livro continuará em repouso.*

- Em [2] (p. 437): *Estando em repouso o livro tende, por inércia, a continuar em repouso.*



Figura 3. Montagem e procedimento. A figura ilustra a montagem e mostra a mão prestes a puxar o cartão.

- Em [3] (p. 164): *...durante a puxada da placa, a força resultante é aquela recebida do plano de apoio que, além de não ter intensidade expressiva, atua durante um intervalo de tempo muito pequeno. Por isso, nesse curto intervalo de tempo, a moeda mantém-se praticamente em repouso, por inércia. Após a puxada, entretanto, a força da gravidade (peso) faz com que a velocidade da moeda cresça a partir de zero, vencendo sua inércia de repouso e conduzindo-a ao fundo do copo.*

Os experimentos e as explicações sugerem algumas questões:

- Partindo da suposição de que existe atrito, pois os experimentos envolvem arrastamento de moedas e cartões entre si, que são materiais ásperos, como explicar a aplicação da lei da inércia, nesses experimentos?

- Por que o resultado é diferente, quando o “peteleco” na moeda for fraco (Experimento 1) ou quando o cartão for puxado vagarosamente (Experimento 2)? Em outras palavras: Supondo que a lei da inércia explique o “caso de arrastamento rápido”, o resultado diferente obtido no “caso de arrastamento lento” indica que a lei da inércia não é aplicável, logo que existe uma força resultante não nula. Mas o único tipo de força disponível, no caso, é uma força de atrito entre a moeda alvo e as moedas restantes da pilha (Experimento 1) ou entre o cartão e a moeda (Experimento 2). Significaria isso que, em um caso, existe atrito, mas não no outro?

### Problema Auxiliar

O problema clássico ilustrado na Fig. 3 ajuda a definir a situação física envolvida nos experimentos: Um corpo  $A$ , de massa  $m$ , está sobre um corpo  $B$ , de massa  $M$ ; uma força  $F$  é aplicada ao corpo  $B$ , puxando-o; existe atrito entre  $A$  e  $B$ , mas para nossos propósitos é indiferente se existe ou não atrito entre  $B$  e o chão, logo é melhor suprimi-lo, para simplificar. Da Fig. 4, tiramos:

$$\text{Equação de } A: \mathbf{F}_{\text{atrito}} = m\mathbf{a}_A$$

$$\text{Equação de } B: \mathbf{F} - \mathbf{F}_{\text{atrito}} = M\mathbf{a}_B$$

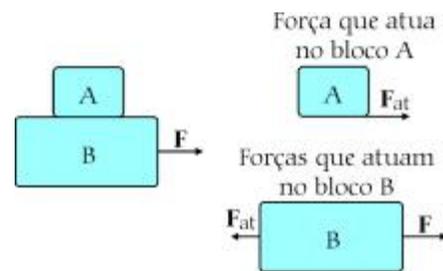


Figura 4. A figura da esquerda mostra a montagem do sistema: O bloco  $A$  é colocado sobre o bloco  $B$ , enquanto  $B$  é puxado com uma força constante,  $F$ . A figura da direita mostra as forças que atuam em cada bloco, separadamente:  $F$ , que atua sobre  $B$ ; e a força de atrito,  $F_{\text{at}}$ , entre os dois blocos. O atrito entre  $B$  e o solo é desprezado.

Intensidade (máxima) da força de atrito:  $F_{\text{atrito}} = \mu mg$ ,

onde  $\mu$  é o *coeficiente de atrito estático* e depende das superfícies de contato, do material e da forma dos corpos<sup>1</sup>. A equação de  $A$  mostra que o corpo só pode começar a se movimentar, se existir uma *força de atrito*,  $F_{\text{atrito}}$ , entre ele e o corpo  $B$ , de intensidade  $F_{\text{atrito}} = \mu mg$ . Na ausência dessa força, não há nenhuma outra força que cause uma aceleração, produzindo uma velocidade que não existia anteriormente.

### Comparação com o Problema Auxiliar

No Experimento 1, a moeda alvo funciona como o corpo  $B$  do problema auxiliar e as outras moedas da pilha, juntas, como o corpo  $A$ . No Experimento 2, o cartão funciona como o corpo  $B$ , enquanto a moeda, como o corpo  $A$ . Pode-se, então, perguntar: Por que a força  $F_{\text{atrito}}$  não aparece nos experimentos citados, no caso de “arrastamento rápido”? O atrito desapareceu?

Ora, duas situações empíricas parecem indicar que existe atrito<sup>2</sup>:

- Calor é produzido, quando duas moedas são esfregadas uma contra a outra muito rapidamente, várias vezes, ora em um sentido, ora no sentido oposto. Ou, equivalentemente, esfregando uma mão contra a outra, sucessivas vezes, de modo rápido.

Logo, atrito pode ser produzido no “arrastamento rápido”: Em cada passada, as moléculas da superfície adquirem energia cinética pelo atrito, até que a temperatura se torne sensível.

- No caso do Experimento 2, se se usasse um cartão “suficientemente” grande, a moeda acabaria por se mover para a frente, como no caso da existência de atrito, antes que o cartão fosse totalmente puxado.

## Procurando o Atrito

A segunda lei da mecânica relaciona a força resultante,  $\mathbf{F}$ , sobre um corpo de massa  $m$  à variação de sua *quantidade de movimento*,  $m\mathbf{v} \equiv \mathbf{p}$ , ocorrendo em um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ):

$$\mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} \Rightarrow \mathbf{F}\Delta t = \Delta \mathbf{p}.$$

Definindo  $\mathbf{I} \equiv$  impulso de uma força  $= \mathbf{F}\Delta t$ , a segunda lei pode ser reescrita:

Equação do movimento:  $\mathbf{I} = \Delta \mathbf{p}$ .  
Esse resultado é conhecido como teorema do impulso: Um *impulso* (isto é, uma força  $\mathbf{F}$  atuando durante um tempo  $\Delta t$ ) gera *quantidade de movimento* ( $\Delta \mathbf{p}$ ).

Pode-se supor dois casos de atuação de uma força finita, não nula:

- A força atua durante um tempo finito. Nesse caso,  $\mathbf{I} =$  finito  $\neq 0$ , logo  $\Delta \mathbf{p} =$  finito  $\neq 0$ , de modo que a força gera movimento.

- A força atua durante um tempo pequeno, ou seja,  $\Delta t$  tende para 0 (notação:  $\Delta t \rightarrow 0$ ). Nesse caso,  $\mathbf{I} \rightarrow 0$ , logo  $\Delta \mathbf{p} \rightarrow 0$ , de modo que a força não tem tempo de gerar movimento.

Nos experimentos acima, a *força de atrito* é, obviamente, finita (pois seu valor máximo é  $\mu mg$ ); o *impulso* que ela causa é  $\mathbf{I} = \mathbf{F}_{\text{atrito}} \Delta t$  (em intensidade,  $I = \mu mg \Delta t$ ).

Se  $\Delta t \rightarrow 0$ , a *força de atrito* (entre a moeda alvo e o resto da pilha, no Experimento 1; entre o cartão e a moeda, no Experimento 2), embora finita, não tem tempo de gerar *quantidade de movimento*; portanto, as moedas restantes da pilha e a moeda sobre o cartão permanecem em seus estados iniciais (repouso) e ficam “pairando no ar” e, obviamente, caem pela ação da força de gravidade, com a retirada do suporte. Se  $\Delta t =$  finito  $\neq 0$ , as moedas da pilha e a moeda sobre o cartão recebem uma *quantidade de movimento*  $\Delta \mathbf{p} =$  finito  $\neq 0$ , movendo-

se na direção da força.

## Agradecimento

Agradecemos ao Professor Takeshi Kodama por suas sugestões. As imperfeições que permaneceram são de nossa inteira (ir)responsabilidade.

## Referências

- [1] F. Ramalho Junior, N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física* (Editora Moderna, São Paulo, 2003), 3 v, v.1.
- [2] N.G. Ferraro, e P.A.T. Soares, *Aulas de Física I (Mecânica)* (Atual Editora, São Paulo, 2003).
- [3] R.H. Doca, G.J. Biscuola e N. Villas Bôas, *Tópicos de Física (Mecânica)* (Editora Saraiva, São Paulo, 2001).
- [4] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Editora Bookman, São Paulo, 2002).

## Notas

- [1] Está subentendido que esse é o valor máximo da força de atrito e só vale para a situação em que o corpo está “prestes a se mover”.
- [2] Se não existir atrito entre  $A$  e  $B$ , os dois experimentos ilustram, rigorosamente, a lei da inércia. Se existir atrito e ele for menor que o valor máximo ( $\mu mg$ ), os corpos  $A$  e  $B$  formariam um único corpo de massa  $m + M$ , movendo-se juntos, e a situação observada nos dois experimentos não poderia acontecer.

# Uma Mini-Estação Meteorológica

Adenilson J. Chiquito, Reginaldo da Silva e Kleber Betini Vieira  
Departamento de Física  
Universidade Federal de São Carlos

## Introdução

Pode-se prever ou pelo menos perceber alterações nas condições climáticas de uma determinada região através do conhecimento de algumas grandezas como umidade relativa, temperatura, pressão e velocidade dos ventos, dentre outras. Assim, com o objetivo de ilustrar como estas alterações podem ser observadas, apresentamos uma pequena estação meteorológica que pode ser construída facilmente por alunos do Ensino Médio e mesmo do Fundamental. Juntando as observações realizadas nos três equipamentos a uma medida de temperatura, que pode ser obtida até mesmo com um termômetro clínico, temos a indicação de que uma mudança do clima pode ocorrer.

Um ponto interessante sobre esta estação é que os alunos poderão observar conceitos vistos em sala de aula na prática e como eles podem afetar nossa vida [1].

## O sistema

### Barômetro: Medida da pressão atmosférica

Este é o mais simples dos três equipamentos propostos. Necessitamos de um recipiente de boca larga (por exemplo, um vidro de maionese vazio e limpo), uma bexiga para festas, um canudinho e uma base que pode ser de madeira, papelão, cartolina ou outro material qualquer. A construção é direta e fácil:

primeiramente corta-se a bexiga logo abaixo do seu “pescoço” e com a parte maior cobre-se a boca do vidro de maionese mantendo a bexiga esticada. Com o auxílio de um barbante, fixa-se a bexiga amarrando-a à boca do vidro. Para melhorar a fixação, pode-se passar uma fita adesiva sobre o barbante, como ilustrado na Fig. 1. A seguir, o canudinho de refrigerante deve ser fixado na superfície da bexiga, também com fita adesiva. O conjunto deve então ser colocado ao lado de uma escala graduada, como na Fig. 1. Está finalizado o barômetro e seu funcionamento é o mais simples possível: quando a pressão externa diminui, a pressão interna do vidro de maionese empurra a bexiga para fora, fazendo a ponta do canudinho abaixar, indicando que uma condição propícia para a chuva foi alcançada. Quando a pressão externa aumenta, dá-se o efeito contrário. É importante lembrar que a escala proposta na Fig.

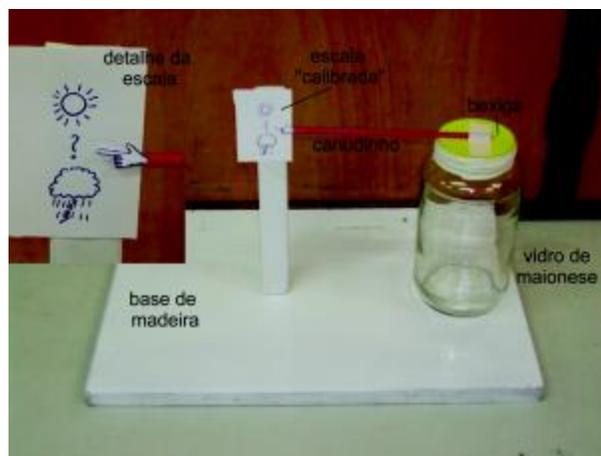


Figura 1. Barômetro de canudinho: um vidro de maionese e uma bexiga. Note a calibração da escala na parte esquerda da figura.

Este trabalho apresenta três versões básicas de equipamentos científicos usados para medidas experimentais de condições climáticas como pressão, velocidade de ventos e umidade relativa.

1 é apenas ilustrativa, uma vez que a variação da posição do canudinho é bastante reduzida. Nosso protótipo mostrou um deslocamento de 2 mm em um dia chuvoso.

Um cuidado que deve ter tomado com este equipamento está relacionado com variações fortes da temperatura ambiente, ou seja, podemos obter indicações erradas se colocarmos nosso barômetro exposto ao sol. Qual seria o motivo?

### Higrômetro: Medida da umidade do ar

Este sistema também é simples, mas exige um pouco mais de cuidado e a colaboração de um(a) amigo(a) que esteja interessado(a) em contribuir com a Ciência. Nosso higrômetro é baseado em uma propriedade interessante dos fios de cabelo "sentem" a quantidade de água no ambiente e sofrem dilatação ou contração em função dela. Assim temos um sistema ideal para detectar a umidade do ar.

Para usar o sensor (fio de cabelo) devemos montar um sistema que detecte a sua contração ou dilatação. Na Fig. 2 temos uma idéia de como isso pode ser feito: usando um pequeno carretel preso em um suporte, enrola-se um fio de cabelo tendo uma de suas pontas presa ao suporte e a outra presa a um pequeno pesinho. No carretel prende-se um ponteiro,



Figura 2. Higrômetro de fio de cabelo. Necessitamos de um fio de cabelo, um carretel, e um suporte. É necessário que o cabelo não esteja com tinta.

como indicado na Fig. 2. Quando a umidade do ar varia, o fio de cabelo contrai-se ou dilata-se, provocando a variação da posição do ponteiro e indicando diretamente se a umidade está maior ou menor.

Novamente, observações cuidadosas serão necessárias para perceber a mudança na posição do ponteiro.

### Anemômetro: Medida da velocidade do vento

Apesar de exigir um pouco mais de conhecimento técnico para ser construído, o anemômetro também é muito simples. Para construí-lo, necessitamos de um pequeno motor do tipo usado em carrinhos de brinquedo, três pedaços de cartolina, alguns pedaços de madeira, fios rígidos e um multímetro (que pode ser adquirido em casas especializadas ou em lojas populares de R\$ 1,99). O aspecto da montagem realizada está mostrada na Fig. 3. Em um pequeno pedaço de madeira cortada na forma de um círculo, faz-se três furos ao longo de sua circunferência, separados por aproximadamente 120°, nos quais serão encaixados três pedaços de fios rígidos de cobre de 10 a 15 cm de comprimento.

Os pedaços de fio são terminados em forma de círculos, onde serão presos os pedaços de cartolina em forma de cone utilizados para "captar" o vento. No pedaço de madeira circular deve-se providenciar um furo no

diâmetro do eixo do motor, que será ali encaixado. Este sistema pode ser colocado em um suporte que prenda apenas o corpo do motor (no nosso caso, foi usado um cano de PVC). O aparato é mostrado na Fig. 3.

Assim, quando exposto a um fluxo de ar em uma determinada direção, o nosso "cata-vento" irá girar fazendo gi-

rar também o eixo do motor. Deve-se destacar aqui uma propriedade interessante do motor usado: normalmente estes motores são formados por dois ímãs permanentes entre os quais ficam três ou mais bobinas presas ao eixo do motor. Se é aplicada uma voltagem às bobinas do motor, o eixo começa a girar; se conectarmos um voltímetro aos terminais do motor e o pusermos a girar, uma pequena tensão aparece, sendo proporcional à velocidade do eixo [2]. Desta forma, temos uma maneira simples de medir a velocidade do vento.

Uma necessidade que surge imediatamente é a calibração do sistema. Uma maneira bastante original é pedir a ajuda de um colega que possua uma bicicleta equipada com um velocímetro. Em um espaço onde pode-se circular livremente com a bicicleta, como um parque, enquanto seu colega mantém uma velocidade com a bicicleta controlando o velocímetro, você de carona no bagageiro e com o anemômetro em uma das mãos verifica qual a voltagem máxima para aquela velocidade. Então, pára-se e anota-se o valor em uma tabela de voltagens em função de velocidades. Um cuidado importante é que esta calibração seja feita em um dia sem ventos.



Figura 3. Anemômetro construído com um pequeno motor de brinquedo, cartolina e fios de cobre. As cartolinas em forma de cone foram presas aos fios de cobre com fita adesiva.

## Observações do clima

Para verificar o quanto estamos aptos a observar uma mudança nas condições climáticas, deve-se escolher duas situações diferentes e limites, como um dia ensolarado e um dia chuvoso. Diferenças certamente serão obtidas, uma vez que estas situações apresentam condições muito distintas para temperatura, pressão, umidade e velocidade do vento, sendo portanto mais fáceis de serem observadas. A partir daí, pode-se produzir uma tabela com observações realizadas em dias onde a situação climática estava em

um ponto intermediário entre os dois extremos. Depois de algumas tentativas de previsão, você começará a observar que algumas características (pressão, temperatura, umidade e velocidade do vento) sempre se repetem quando uma chuva se aproxima. Assim, construa uma tabela com suas anotações e use os dados para prever se irá ou não chover.

## Conclusão

Com estes três sistemas extremamente simples pode-se permitir ao estudante que ele use os conceitos aprendidos em sala de aula, como as grandezas normalmente vistas em

termologia, em situações práticas. Além disso, os estudantes serão colocados frente a um exercício de análise bastante interessante, que consiste em analisar um conjunto de dados e mostrar a provável direção na qual eles apontam.

## Referências

- [1] F. Ramalho Jr., N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física. 2 - Termologia, Óptica e Ondas* (Editora Moderna, São Paulo, 1994).
- [2] F. Ramalho Jr., N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física. 3 - Eletricidade* (Editora Moderna, São Paulo, 1994).



## A capilaridade empurra...

Por que alguns materiais “molham mais” na água que outros? [1] Como as plantas realizam a absorção da seiva bruta [2]? Por que se deixarmos uma pegada no solo cultivado, a parte que está pisada torna-se dura e seca [3]? Como o sangue circula nos vasos capilares [1]?

O objetivo deste texto é, a partir de uma simples ilustração, discutir o fenômeno da capilaridade.

## Material utilizado

- 1 recipiente transparente com água.
- 1 tubo capilar<sup>1</sup> de vidro.
- 1 tubo não capilar de vidro.

## Procedimento

Pegue os tubos e coloque verticalmente, um a um, dentro d'água.

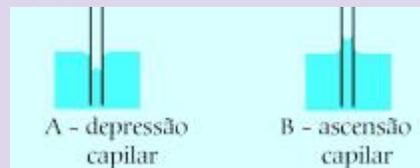
## Observe que...

A altura que a água sobe nos tubos é diferente.

## Explicação

Segundo Gaspar [2], capilaridade é o fenômeno resultante da diferença entre a intensidade da força de coesão de um líquido e a intensidade da força de adesão desse líquido com as paredes do recipiente. Por exemplo, a depressão ou a ascensão de um líquido em um tubo capilar em relação ao nível do líquido no recipiente onde o tubo foi colocado [4] (Figs. A e B [5]). A ação conjunta das forças de adesão e das

forças de coesão<sup>2</sup> empurra o líquido para cima ou para baixo, conforme suas moléculas sejam atraídas com mais força entre si ou pelas paredes do capilar [5, 7]. Isto vai depender do líquido e do material do tubo [1, 2].



Pela Lei de Jurin [8]:  $h = 2\sigma/\mu gr$ , onde  $\sigma$  é a tensão superficial  $\mu$  é a massa específica,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $r$  é o raio do capilar e  $h$  a altura de ascensão do líquido - utilizando um recipiente qualquer com água e colocando tubos capilares (de mesmos materiais e de raios diferentes) verticalmente, um a um, em contato com a água, a altura que a mesma sobe nos capilares diminui com o aumento do raio.

Ou seja, devido à força de adesão, algumas moléculas de água que estão dentro do capilar são atraídas para as paredes do mesmo ficando “grudadas”; como uma molécula atrai a outra, mais moléculas vão subindo devido à força de coesão, até formar uma pequena coluna de água no interior do capilar, ou melhor, até a resultante entre as forças de adesão, forças de coesão e peso da coluna de água se tornar nula. Isto também acontece entre a água e o recipiente, entre a água e a parte externa do capilar e entre a água e as partes interna e externa do tubo não capilar. No entanto, como nestes casos o número de moléculas é muito maior, porque há mais água, a coluna não consegue atingir um patamar mais elevado que o nível da água no recipiente. Já dentro do capilar, por ter um diâmetro reduzido, a quantidade de água é

menor, e conseqüentemente o número de moléculas também. Assim, a água consegue alcançar um patamar mais alto que no recipiente [1, 2, 6, 7, 9].

## Referências

- [1] Dicas do professor, *CHC* **105**, (2000).
- [2] A. Gaspar, *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental* (Ática, São Paulo, 2003).
- [3] J. Walker, *O Grande Circo da Física*, Coleção *Aprender Fazer Ciência* (Gradiva, Lisboa, 2001).
- [4] H. Macedo, *Dicionário de Física* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1976).
- [5] *Dicionário de Física*, Coleção *Dicionários Técnicos Melhoramentos*, (Melhoramentos, São Paulo, 1980).
- [6] A. Gaspar, *Mecânica* (Ática, São Paulo, 2000).
- [7] Perguntas Superintrigantes, *Superinteressante* **1** (1997).
- [8] F.R.R. Lima, *Cad. Cat. Ens. Fís.* **2**, 2 (1985).
- [9] H. Bonadiman, *Hidrostatica & Calor: Integração, Experimento, Teoria e Cotidiano* (Unijuí, Ijuí, 2004).

## Notas

<sup>1</sup>Tubo com raio interno muito pequeno (igual ou menor que 0,1 mm [1]) que apresenta o fenômeno da capilaridade.

<sup>2</sup>Conforme Gaspar [6], forças de coesão e forças de adesão são nomes particulares de interações eletromagnéticas. E que embora os átomos tenham o mesmo número de prótons e elétrons (eletricamente neutros), as moléculas que eles compõem, em geral, não o são, já que as partículas eletricamente carregadas raras vezes se distribuem simetricamente em cada molécula, ou seja, devido à assimetria, grande parte das moléculas das substâncias são moléculas polares (possuem regiões ou pólos com cargas elétricas opostas), fator determinante no aparecimento das forças de adesão e de coesão.

Fábio Luis Alves Pena  
IF/UFBA  
Fabiopeninha@bol.com.br



## Introdução

**H**istoricamente, os físicos conheceram inicialmente a lei de conservação do momento linear [1]. Em 1666, membros da Royal Society of London assistiram a uma demonstração durante uma de suas reuniões. Duas bolas de madeira dura (com massas e diâmetros iguais) foram suspensas formando dois pêndulos. Ao suspender e abandonar uma das bolas em uma certa altura, deixando a segunda parada, a bola abandonada fez um movimento de descida e, após a colisão com a segunda bola, a primeira ficava parada enquanto a segunda adquiria movimento. Diminuindo-se o atrito, o movimento das bolas se repetia, ou seja, a bola seguinte voltava a colidir com a primeira e então retornava ao ponto de onde foi suspensa.

Todavia, a análise dessa realização experimental, seguindo apenas a lei da conservação do momento linear, não possibilita explicar o resultado experimental descrito acima, pois a lei de conservação do momento linear informa que o momento linear antes da colisão é exatamente igual ao momento linear após a colisão. A lei não indica como se repartem os momentos lineares. Por exemplo, a primeira bola poderia retornar para trás com velocidade igual à velocidade inicial, desde que a segunda bola fosse para frente com velocidade duas vezes a velocidade inicial da primeira bola. Além disso, qualquer outra combinação seria

**Em 1668 Christiaan Huygens propôs uma nova lei de conservação: a quantidade  $mv^2$ . Posteriormente,  $\frac{1}{2}mv^2$  foi batizada de energia cinética**

possível, desde que o momento linear inicial (antes da colisão) fosse igual ao momento linear final (depois da colisão).

Somente em 1668, dois anos depois da apresentação experimental, o físico holandês Christiaan Huygens, apresentou a solução. Ele demonstrou que era necessária uma nova lei de conservação. Era preciso conservar a quantidade  $mv^2$  (grandeza escalar), além de  $m\mathbf{v}$  (grandeza vetorial). Posteriormente, a quantidade  $\frac{1}{2}mv^2$  foi batizada de energia cinética. Portanto, para explicar a experiência, é necessário usar a conservação do momento linear e da energia cinética.

Presentemente, nos cursos de mecânica clássica, seja no Ensino Médio ou no ensino superior, o assunto acerca das leis de conservação é abordado com uma visão quase sempre puramente teórica. Contudo, uma visão experimental, de qualquer tópico em estudo, apresenta diversas sutilezas, principalmente ajudando a despertar a curiosidade dos alunos e aguçando aspectos como o conhecimento da ordem de grandeza dos parâmetros físicos envolvidos, a visualização que possibilita a reprodutibilidade do aparato experimental, ou a caracterização da atividade lúdica. Na realização proposta nesse trabalho, todos esses pontos são explorados.

## Descrição do aparato experimental

Foi pensando em uma atividade experimental que abordasse as leis de

.....  
**C. Chesman, C. Salvador e**

**E.S. de Sousa**

Departamento de Física Teórica e

Experimental

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

E-mail: chesman@dfte.ufrn.br

.....  
**A. Albino Jr.**

Centro Federal de Educação

Tecnológica do Rio Grande do Norte

E-mail: amadeu@cefetrn.br

A Física, por ser uma Ciência, tem necessidade de comprovar suas teorias ou modelos através da análise experimental. O objetivo deste trabalho é estudar comparativamente a teoria e a prática de um sistema mecânico. O experimento consiste em estudar colisões de bolas semelhantes às de bilhar em um aparato cujo funcionamento é o mesmo de um pêndulo físico (formado por um cordão e uma bola de bilhar). Outra bola de bilhar e uma cesta também fazem parte do modelo. Neste experimento, a posição de queda da segunda bola pode ser previamente determinada usando-se as leis de conservação do momento linear e da energia mecânica. A experiência foi efetuada variando-se o ângulo de largada do pêndulo físico e medindo-se o alcance. Os resultados demonstram a excelente concordância entre o modelo teórico e os dados experimentais. A vantagem desse experimento moldado pela mecânica clássica é a sua facilidade de operação, pois não necessita de cronômetro, e resulta em uma excelente atividade didática e em interessante atividade lúdica que pode ser facilmente usada como atrativo em demonstrações científicas.

conservação da mecânica que se elaborou um aparato experimental que tornasse a colisão entre duas bolas de bilhar algo experimental, didático e lúdico. O desenho do aparato experimental é mostrado na Fig. 1.

O aparato foi montado em madeira, de forma que uma das bolas (a que chamaremos de bola-2) foi suspensa por dois fios (fixados na madeira por parafusos), formando um pêndulo [2]. A segunda bola fixada sobre um parafuso (batizada de bola-1), cuja altura pode ser ajustada, sofreu a colisão com a bola-2 e foi arremessada, semelhante à experiência descrita na introdução. Caso a posição da cestinha, colocada em um plano abaixo, coincidissem com a posição do alcance da bola-1, essa bola cairia dentro da cestinha. O acerto da bola-1 dentro da cesta significa um gol ou pontos, como ocorre em jogos. Portanto, o aparato pode em princípio ser considerado como um jogo. Em demonstrações públicas, somente alguns participantes percebem que há uma relação entre o ângulo de largada e o alcance da bola-1 e que é completamente previsível o acerto da bola-1 na cestinha. Contudo, eles ficam deslumbrados ao descobrirem a relação e usam o conhecimento para prevalecer perante os demais participantes. Entretanto, conforme demonstrado, a posição da cestinha pode ser ajusta-

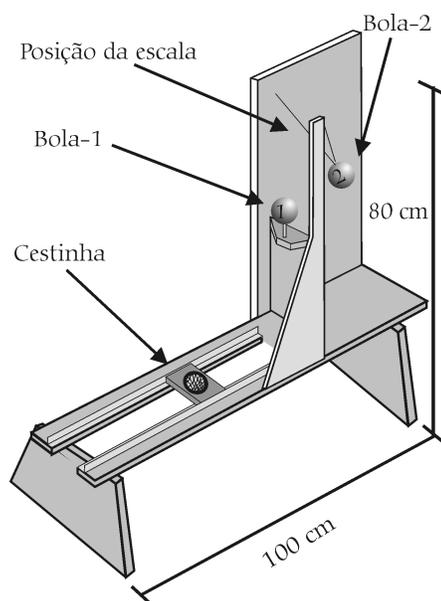


Figura 1. Desenho do aparato experimental.

da de acordo com o ângulo de largada da bola-2, conseguindo-se uma precisão maior do que 95%. Vale ressaltar que o aparato, apesar de abordar um assunto de mecânica, não necessita de cronômetros ou relógios e, principalmente, é de fácil manuseio.

Na Fig. 2 mostramos o desenho do modelo para descrever a realização experimental, quando a colisão é frontal. Para a condição de colisão frontal é necessário ajustar o parafuso onde fica apoiada a bola-1. Participam duas bolas idênticas, uma que faz parte de um pêndulo físico de comprimento  $L$  (bola-2), e outra (bola-1) que se encontra suspensa sobre o parafuso, estando a uma altura  $H$  do plano. Nesse plano de referência encontra-se uma cestinha a uma distância  $X$  da posição de saída da bola-1. A bola-2 é lançada de uma altura  $Y$ , formando um ângulo  $\theta$  (definido como ângulo de largada) com posição vertical, conforme mostra a Fig. 2.

Inicialmente, o sistema está em equilíbrio estático, com o centro de massa da bola-1 alinhado horizontalmente com o centro de massa da bola-2, que será lançada de uma altura  $Y$  com relação a altura  $H$ . Quando a bola-2 é solta livremente, choca-se frontalmente com a bola-1, efetuando uma colisão quase que completamente elástica (perdendo somente 2% da energia inicial [1]). A relação entre a altura  $Y$ , o comprimento do pêndulo  $L$  e o ângulo de largada  $\theta$ , é mostrada no canto superior esquerdo da Fig. 2.

### Relação entre $X$ e $\theta$

É fácil demonstrar que existe uma relação entre o ângulo de largada  $\theta$  da bola-2 e a posição do alcance  $X$ . A demonstração que segue pode ser amplamente apresentada e discutida em sala de aula para mostrar a necessidade da aplicação correta das leis de conservação do momento linear e da energia mecânica [3, 4]. Aqui usamos as leis de conservação para resolver um problema que, como dito anteriormente, pode ser confundido com um jogo.

Elevando a bola-2 a uma altura  $Y$ , teremos uma energia potencial gravitacional dada por  $mgY$ . Quando o pêndulo é solto, toda sua energia

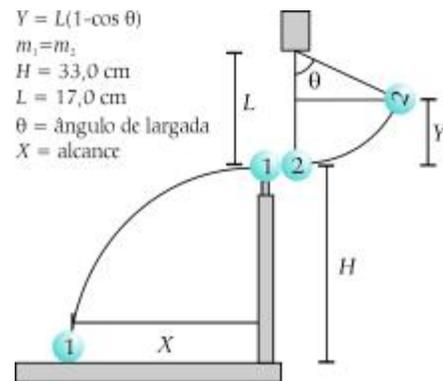


Figura 2. Modelo para a descrição experimental.

potencial é convertida em energia cinética,  $\frac{1}{2}mv^2$ , no ponto mais baixo da trajetória. Aplicando a lei de conservação do momento para bolas de massas iguais, a velocidade de saída da bola-1 será exatamente igual à velocidade da bola-2 no momento da colisão. É fácil demonstrar que o módulo do vetor velocidade (aponta horizontalmente), é dado por:

$$v_1 = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}. \quad (1)$$

Usando o tempo de queda livre  $t_q$  da bola-1, da altura  $H$ , encontramos que o alcance  $X$  é

$$X = v_1 \cdot t_q = 2\sqrt{HL(1 - \cos\theta)}. \quad (2)$$

Isso mostra que o alcance  $X$  depende exclusivamente das alturas  $H$  e  $L$  e do ângulo de largada  $\theta$ .

Na Fig. 3 apresentamos o gráfico do alcance  $X$  em função do ângulo de lançamento  $\theta$ , quando usamos  $L = 17,0$  cm e  $H = 33,0$  cm. Os pontos no gráfico são os dados experimentais e a curva contínua é o resultado dado pela Eq. (2). Observa-se a excelente concordância entre os dados experimentais e teóricos. Comparando esses dois resultados, observa-se ainda que, experimentalmente, há uma relação simples entre  $X$  e  $\theta$ , a qual é aproximadamente uma relação do tipo linear. Para  $H$  e  $L$  dados, a equação da reta é mostrada no gráfico como uma reta tracejada. Portanto, a relação entre  $X$  e  $\theta$  é uma relação diretamente proporcional, ficando extremamente fácil calcular a posição em que ficará a cestinha. Com esses valores, para cada aumento de 10 graus em  $\theta$ , teremos

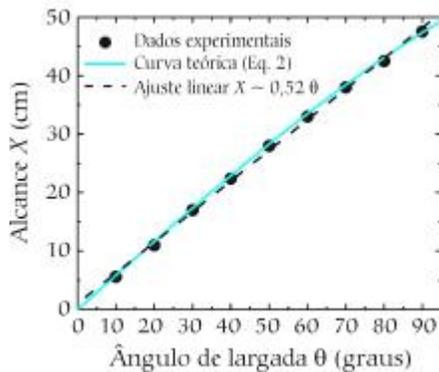


Figura 3. Gráfico do alcance  $X$  em função do ângulo de lançamento  $\theta$ . O resultado é um comportamento praticamente linear entre  $X$  e  $\theta$ .

um aumento de 5,2 cm no alcance  $X$ .

Posteriormente, concluímos também que é possível justificar matematicamente a relação de proporcionalidade entre  $X$  e  $\theta$ . Basta escrever a expansão de  $1 - \cos\theta$  [5]. Considerando somente o primeiro termo ( $\theta^2$ ), fazendo a transformação de radianos para graus e substituindo os valores de  $H$  e  $L$ , encontramos  $X = 0,57\theta$ . O coeficiente angular encontrado matematicamente é sempre superior ao determinado experimentalmente, pois ao considerar apenas o primeiro termo da expansão, a validade da aproximação se restringe a ângulos meno-

res do que  $90^\circ$ . Dessa forma, o ajuste matemático terá um erro menor do que 10% quando comparado aos dados experimentais para o maior ângulo.

Uma observação experimental importante refere-se ao instante de largar a bola-1. Para termos uma medida precisa do ângulo de largada, é necessário evitar o erro de paralaxe. Este é evitado quando se olha perpendicularmente para a escala trigonométrica no instante de obter a medida angular. O procedimento experimental consiste em olhar para os dois fios que sustentam a bola-1 e ao fazer essas observações perceber apenas o primeiro fio, pois o segundo estará na sombra do primeiro, e isso determina a medida angular como correta.

O mesmo aparato permite inúmeros experimentos intrigantes e excitantes que estão ainda sendo investigados. Por exemplo, a colisão entre bolas de massas diferentes, de tamanhos diferentes, a colisão não frontal ou ainda a colisão inelástica.

### Conclusões

Apresentamos um novo aparato experimental para estudar colisões entre bolas. O equipamento em destaque, além da atividade educacional, pode ser usado como excelente ativi-

dade lúdica, pois o acerto da bolinha dentro da cestinha pode vir a ser usada como um jogo. Nesse aparato, demonstramos que existe uma relação simples entre o alcance  $X$  e a posição angular de lançamento  $\theta$ ; portanto, o acerto da bolinha dentro da cestinha não é apenas um jogo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a Pró-Reitoria de Pesquisa da UFRN pelo apoio institucional, à empresa Oficina Ciência pela confecção dos protótipos, ao Prof. Márcio Colombo pelas sugestões e aos bolsistas Neymar P. da Costa e Márcio V. de Araújo pela montagem da nova versão do equipamento.

### Referências

- [1] G. Holton, F.J. Rutherford e F.G. Watson, *Projecto de Física - Unidade 3 (O triunfo da Mecânica)* (Fundação Calouste Gulbenkian, Portugal, 1980).
- [2] Fotografias coloridas do aparato experimental podem ser vistas no sítio [www.oficinaciencia.com.br](http://www.oficinaciencia.com.br).
- [3] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica - Mecânica* (Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1981), 1ª ed.
- [4] A.C. Baratto, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **21**, 40 (1999).
- [5] M.R. Spiegel, *Coleção Schaum - Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas* (McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1974), 1ª ed.

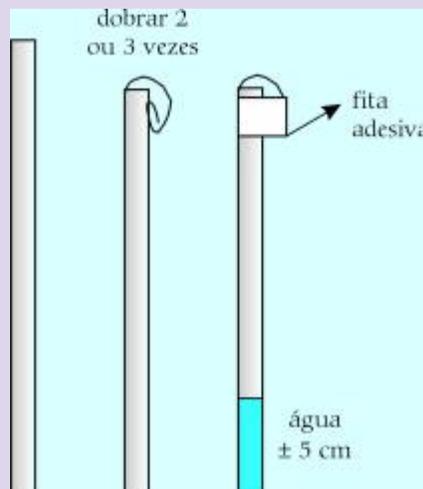


### Um termômetro de canudo de refresco

Dobre um dos lados de um canudo de refresco duas ou três vezes e prenda com uma fita adesiva (veja figura). Pelo outro lado, aberto, coloque mais ou menos 5 cm de água. A maneira mais fácil de se fazer isso é ou colocando primeiramente a água e depois dobrando o outro lado ou apertando um pouco o canudo para que o mesmo funcione como um sugador. Pronto está feito seu termômetro.

Pela posição do menisco da água

podemos calibrar o termômetro. Ao colocar a parte dobrada do canudo em uma região mais quente (dentro de sua boca, por exemplo) o ar dentro do canudo se expandirá empurrando



a água para fora, e se o mesmo for colocado em um copo com gelo, o ar sofrerá contração e a água subirá pelo canudo.

Tendo por base a lei de Charles em que o volume do gás (neste caso o comprimento da coluna de ar) é proporcional a temperatura absoluta, segue que

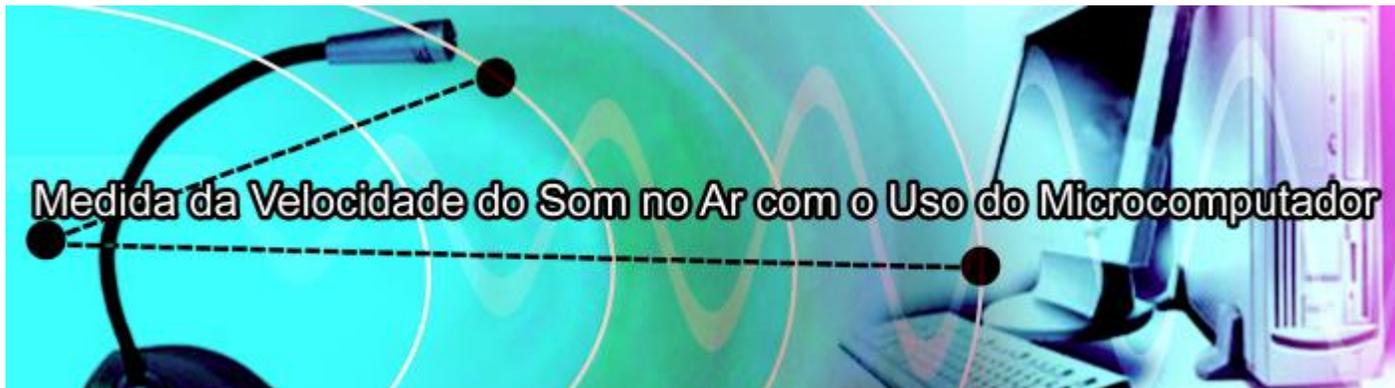
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1 + 273}{T_2 + 273} = \frac{L_1}{L_2'}$$

sendo  $V_1$  o volume e  $L_1$  o comprimento da coluna do ar à temperatura  $T_1$ , etc.

### Referência

*String & Stick Tape experiments* (R.D. Edge, AAPT, 1981).

José Pedro Rino  
DF - UFSCar



# Medida da Velocidade do Som no Ar com o Uso do Microcomputador

.....

## Rita Margarete Grala

Mestranda do PPG Ensino de Física  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. de Física na E.M.E.M. Sta Rita de  
Cássia, Gravataí, RS

E-mail: ritagrala@hotmail.com

.....

## Elisandra Souza de Oliveira

Mestranda do PPG Ensino de Física  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. de Física no I.E.N. S<sup>ra</sup> do Carmo,  
Alvorada, RS

E-mail: elisandra.oliveira@ig.com.br

.....

## Introdução

Neste artigo propomos um experimento diferente para sala de aula, com aquisição de dados via microcomputador. Sabemos que muitas escolas não contam com laboratórios de Ciências bem equipados e algumas nem possuem microcomputadores suficientes para atender uma turma, mas nem por isso devemos descartar a oportunidade de fazê-lo, pois mais cedo ou mais tarde todas as escolas estarão informatizadas. Geralmente, por falta de condições, os experimentos realizados com os alunos são simples ou às vezes não passam de demonstrações; mas os tempos são outros, as novas tecnologias estão aí e não podemos deixá-las de fora do ensino, muito menos do ensino de Física, que oferece todos os elementos necessários para se integrar Ciência e Tecnologia. Também é interessante apresentarmos, além de demonstrações ou experimentos tradicionais, novos desafios que possibilitem aos alunos desenvolverem as suas competências e habilidades.

**É interessante apresentarmos, além de demonstrações ou experimentos tradicionais, novos desafios que possibilitem aos alunos desenvolverem as suas competências e habilidades**

Neste experimento propomos justamente isso, unir a tecnologia à atividade experimental. Para tanto, utilizaremos o microcomputador para obter a velocidade do som no ar, propiciando aos alunos a oportunidade de vivenciarem um processo de aquisição automática de dados experimentais. Se bem explorado, os alunos poderão usar suas habilidades para montar o experimen-

to, aprender a trabalhar com um *software* diferente, construir tabelas, fazer cálculos e até obterem o valor da velocidade do som no ar que é encontrado em todos os livros de Física.

## Objetivo

Determinar, de maneira simples e de baixo custo, a velocidade do som no ar via placa de som do microcomputador. Para isso, o sinal emitido por uma fonte sonora é captado por dois microfones, que se encontram a diferentes distâncias da fonte, e conectados à entrada de linha do microcomputador. Um *software*

(*GoldWave*, 2005) [1] é utilizado para determinar a diferença entre os tempos gastos pelo sinal para atingir cada um dos microfones. Conhecendo-se as distâncias envolvidas, pode-se determinar a velocidade do som no ar, conforme ilustramos no que segue.

## Material necessário

- 2 microfones de eletreto
- 2 capacitores de 1  $\mu\text{F}$
- 2 resistores de 1  $\text{k}\Omega$
- 1 plugue P2 estéreo
- 4 m de fios com duas vias e malha
- 1 fonte CC ajustável de 0-12 V
- tubos de filme fotográfico, “espetos” para papel, fita adesiva, cola, tesoura
- *software* para aquisição de dados via placa de som (*GoldWave*)
- instruções do uso do *software GoldWave* encontradas na Nota [1]

É possível determinar, de maneira simples e de baixo custo, a velocidade do som no ar via placa de som do computador. Para isso, o sinal emitido por uma fonte sonora é captado por dois microfones, que se encontram a diferentes distâncias desta fonte e estão conectados à entrada de linha do microcomputador. Usando o *software GoldWave* podemos determinar a diferença entre os tempos gastos pelo sinal sonoro para atingir cada um dos microfones. Conhecendo-se as distâncias envolvidas, pode-se determinar com facilidade a velocidade do som no ar.

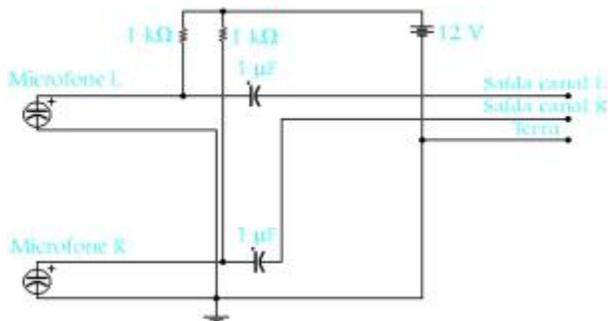


Figura 1. Esquema do circuito elétrico.

### Roteiro da experiência

Em primeiro lugar monta-se o circuito que permitirá a captação do som para enviá-lo ao microcomputador, como mostra a Fig. 1 [2], tomando o cuidado de deixar um fio de 1,5 m (no mínimo) ligando um microfone ao outro.

Após a montagem do circuito, liga-se a fonte à rede elétrica e ajusta-se para 9 V. Conecta-se o plugue na entrada de linha do computador, separam-se e alinham-se os microfones. A seguir faz-se uma série de ruídos repentinos como, por exemplo, bater um bastão em um objeto metálico. Como os microfones estão posicionados a distâncias diferentes em relação à fonte sonora, os sinais captados chegam defasados, como mostram as Figs. 2 e 3.

Os microfones de eletreto podem ser instalados dentro de tubos plásticos de filme fotográfico e colocados sobre pedestais (empregamos estes “espetos prendedores de papel” que são usados em escritórios).

Inicialmente tentamos obter da-

dos com o uso de diapasões o que se revelou inviável, devido à pouca sensibilidade dos microfones. Portanto, é necessário obter-se uma onda sonora de maior intensidade. Nas medidas feitas, utilizamos o bater de uma colher de inox em uma panela de alumínio como fonte de onda sonora. Nas Fotos 1 e 2 tem-se uma visualização do arranjo experimental.

### Um exemplo

Mantendo o microfone 1 à distância de 1,40 m e o microfone 2 à distância de 2,20 m da fonte sonora,

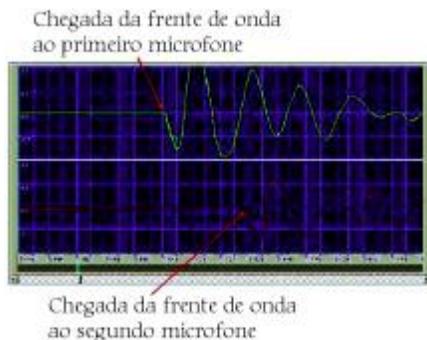


Figura 3. Registro de uma onda sonora típica.

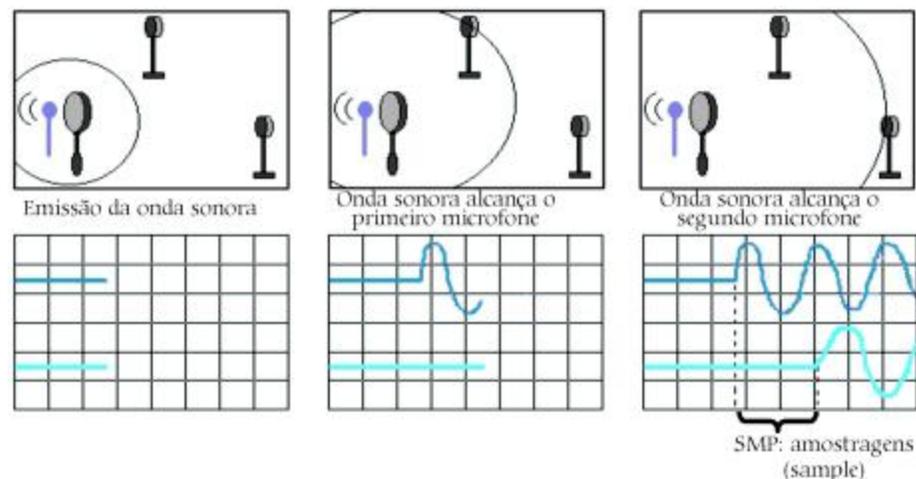


Figura 2. Sequência que representa a chegada da onda sonora a cada microfone.

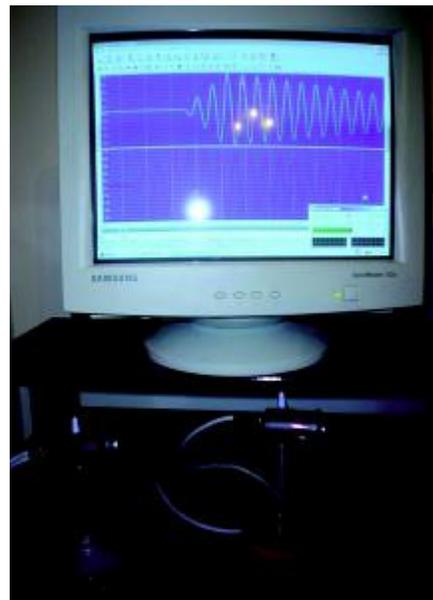


Foto 1. Visualização do arranjo experimental.

executamos sete seqüências de sons (batidas). A Fig. 4 mostra esquematicamente a experiência com as respectivas distâncias.

Escolhemos a frequência de 48 000 aquisições/segundo, ou seja, o software GoldWave fez 48 000 leituras a cada segundo.

Os resultados obtidos com este arranjo estão na Tabela 1.

A variável tempo, em milisegundos (ms), foi obtida dividindo-se o número de leituras efetuadas no intervalo considerado ( $smp = sample$  ou amostragens) pela frequência com que as aquisições foram feitas pelo programa.

Por exemplo: na primeira medida obtivemos 112 smp. Como a taxa de coleta é de 48 000 amostras por se-

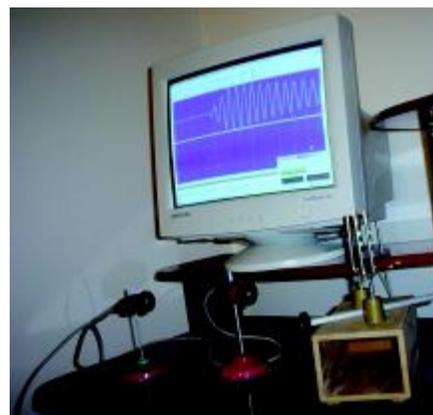


Foto 2. Equipamento montado.

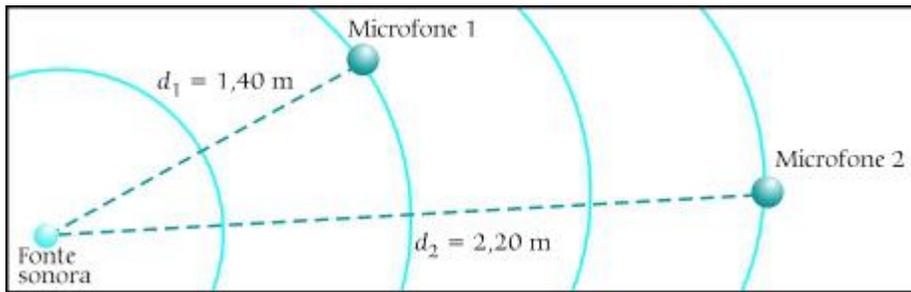


Figura 4. Esquema das localizações usadas na experiência.

Tabela 1. Valores obtidos experimentalmente.

Medidas	smp	Tempo (ms)	Velocidade (m/s)
1ª medida	112	2,33	343,35
2ª medida	113	2,35	340,42
3ª medida	112	2,33	343,35
4ª medida	112	2,33	343,35
5ª medida	113	2,35	340,42
6ª medida	111	2,31	346,32
7ª medida	112	2,33	343,35

gundo podemos calcular o tempo entre a chegada da onda a cada um dos dois microfones:

$$\begin{aligned} 48\,000 \text{ amostragens} &\rightarrow 1 \text{ s} \\ 112 \text{ amostragens} &\rightarrow \Delta t \end{aligned}$$

$$\Delta t = \frac{112}{48000}$$

$$\Delta t = 0,002333 \text{ s} = 2,33 \text{ ms.}$$

Como

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t'}$$

temos

$$v = \frac{0,80 \text{ m}}{2,33 \times 10^{-3} \text{ s}}$$

Portanto  $v = 343,35 \text{ m/s}$  para a primeira medida.

O cálculo da média aritmética das velocidades obtidas experimentalmente resultou em  $v_m = 342,94 \text{ m/s}$ .

É possível calcular a velocidade prevista para o som no ar para determinada temperatura ambiente ( $\theta$ ) através da relação

$$v = 331,5 + 0,60\theta, \quad (1)$$

onde  $\theta$  é a temperatura ambiente em graus Celsius.

Como no momento da obtenção dos dados, a temperatura ambiente era de  $19,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , é possível calcular o valor esperado para a velocidade do som no ar:

$$\begin{aligned} v &= 331,5 + 0,60 \times 19,5 \\ v &= 343,14 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ou seja, o valor obtido experimentalmente ficou bem próximo do esperado.

A medida da velocidade do som também pode ser feita com um equipamento simples como o exposto no artigo de Cavalcante e Tavolaro [3].

## Sugestões

Este experimento pode ser apresentado como uma demonstração interativa, caso não haja microcomputadores suficientes. Se houver algumas máquinas disponíveis, os alunos podem trabalhar em grupo, com o experimento já montado, sob a orientação do professor. No entanto, se a escola possuir condições, ou se os alunos tiverem microcomputador em casa, uma forma mais interessante de trabalho seria que os alunos tentassem montar o circuito, baixassem da rede o *software* e aprendessem a usá-lo. Desta forma teríamos um envolvimento maior dos alunos com o trabalho, além de possibilitar a eles o desenvolvimento de outras habilidades não necessariamente relacionadas com a Física, como o trabalhar em

grupos cooperativos e dominar a tecnologia disponível.

## Conclusão

Acreditamos que proporcionar aos alunos atividades experimentais pode ser estimulante além de proporcionar a eles o desenvolvimento de suas competências e habilidades. Além disso, os alunos podem ter a noção de como é feita a produção científica em um laboratório de Física, passando pelas etapas de desenvolvimento até ser atingido o objetivo. Ao utilizarmos novas tecnologias no ensino de Física, estaremos proporcionando a integração entre os conhecimentos prévios dos alunos com o que é visto em sala de aula. Desta forma, estaremos contribuindo para tornar o ensino mais agradável, interessante e menos enfadonho para alguns alunos, que de tanta aula teórica, fórmulas e exercícios, não conseguem perceber o quanto esta ciência é fascinante.

## Agradecimento

Queremos fazer um agradecimento especial à Profa. Eliane Angela Veit (Instituto de Física, UFRGS) pelo incentivo, pelas sugestões e por gentilmente se dispor a fazer as correções neste artigo.

## Referências

- [1] Goldwave INC. Disponível em [www.goldwave.com](http://www.goldwave.com) (acesso em 1/1/2005).
- [2] Montagem do circuito eletrônico: [http://www.hut.fi/Misc/Electronics/circuits/microphone\\_powering.html](http://www.hut.fi/Misc/Electronics/circuits/microphone_powering.html).
- [3] M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavolaro, Física na Escola **4**:1, 29 (2003).

## Nota

- [1] A experiência aqui descrita também pode ser encontrada no Centro de Referência para o Ensino de Física da UFRGS em <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/lab/linein/index.html> (acesso em 1/1/2005).



# Einstein e a sua Concepção de Educação

**E**instein nasceu na cidade de Ulm, na Alemanha, e logo cedo mudou-se para Munique onde recebeu a sua educação básica. De início, ele não se mostrou ser nenhum prodígio; pelo contrário, foi uma criança solitária, fechada em si mesma, que só aprendeu a falar tardiamente. Na escola, foi tido como um rebelde que não se adaptava aos rígidos padrões de disciplina germânicos. Essa sua reação às imposições dos seus mestres continuaria quando estudante na Escola Politécnica de Zurique e se corporificaria, tempos depois, já na maturidade, em belas reflexões pedagógicas.

Tendo em mente uma educação humanista voltada para a formação de uma personalidade integral, Einstein combateu sempre o autoritarismo nas relações humanas e em especial no âmbito escolar. Esta personalidade integral preconizada para os estudantes incorporaria uma formação que extrapolaria a mera posse do conhecimento de conteúdos curriculares específicos e incluiria uma dimensão social e ética às suas vidas. Nesta sua crítica aos rígidos sistemas educacionais e na sua pregação pelo desenvolvimento do pensamento crítico, Einstein desenvolve sua crença na necessidade de fomentar as condições necessárias para o surgimento no ser humano da aludida personalidade integral:

*Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim, uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreen-*

*didado, daquilo que é belo, do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com seus conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que a uma criatura harmoniosamente desenvolvida [1].*

Dentro desta perspectiva Einstein refletiu, também, sobre o papel da competição e da especialização prematuras:

*Os excessos do sistema de competição e de especialização prematura, sob o falacioso pretexto de eficácia, assassina o espírito, impossibilitam qualquer vida cultural e chegam a suprimir os progressos nas ciências do futuro. É preciso, enfim, tendo em vista a realização de uma educação perfeita, desenvolver o espírito crítico na inteligência do jovem [1].*

Esta concepção de educação integral, contida no pensamento de Einstein, está em perfeita sintonia com a compreensão de vários outros educadores, tanto do seu tempo quanto posteriores [2]. Podemos, por exemplo, destacar a similaridade do seu pensamento educacional com o do matemático português Bento de Jesus Caraça (1901-1948). Para Caraça, os homens deveriam atuar como agentes da justiça, da paz e da liberdade; precisariam ser sábios e para isso precisariam adquirir aquilo que ele chamava de uma “cultura integral” voltada para o desenvolvimento do espírito de solidariedade [3]. Ao defender tal postura de solidariedade, Caraça, como Einstein, opunha-se à competitividade nas relações humanas. E em que consistia essa cultura integral do indivíduo, vislumbrada

.....  
**Cleide Farias de Medeiros**  
Departamento de Educação  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco

.....  
**Alexandre Medeiros**  
SCIENCO

---

Albert Einstein (1879-1955) é comumente conhecido como um dos maiores cientistas de todos os tempos e como o criador da Teoria da Relatividade, a qual completa 100 anos neste ano de 2005. Entretanto, Einstein foi bem mais que um cientista; ele foi também um verdadeiro humanista e, fundamentado neste seu humanismo, desenvolveu vários pensamentos importantes sobre a Educação. É sobre essa face menos conhecida de Einstein, esse seu vínculo com a Educação, que este presente artigo lança um breve olhar.



Estátua de Einstein em Washington

por Bento Caraça? Assim como para Einstein, ela consistia na idéia de constituir-se, ela própria, no caminho para a verdadeira liberdade e cidadania. O que significa, então, ser um homem culto? Caraça responde a esta pergunta afirmando que:

*Homem culto é aquele que: 1. Tem consciência da sua posição no cosmos e, em particular, na sociedade a que pertence; 2. Tem consciência da dignidade que é inerente à existência como ser humano; 3. Faz do aperfeiçoamento do seu ser interior o fim último da vida. Ser culto não implica ser sábio. Há sábios que não são homens cultos e homens cultos que não são sábios [4].*

Em perfeita sintonia com o pensamento de Einstein, a aquisição da 'cultura integral' necessária significava para Caraça:

*Uma elevação constante, servida por um florescimento do que há de melhor no homem e por um desenvolvimento sempre crescente de todas as suas qualidades potenciais, consideradas do quádruplo ponto de vista físico, intelectual, moral e artístico; significa, numa palavra, a conquista da liberdade [4].*

Vários educadores da atualidade têm destacado pontos de vista seme-

lhantes com relação à Educação em geral e mais especificamente com relação aos objetivos mais amplos da educação em Ciências. Os Parâmetros Curriculares Nacionais, por exemplo, em sua versão mais recente (PCNs+) extrapolam o mero propósito de veiculação de conteúdos específicos para adentrarem em objetivos mais amplos relacionados com a importância da solidariedade para o exercício da cidadania. No tocante, por exemplo, ao ensino da Física, os PCNs+ destacam o papel da solidariedade na formação da cidadania. Assim, o importante seria ensinar uma Física para a vida a partir de uma concepção humanista abrangente, como aquela do cidadão que se pretende formar, ou seja, *construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade [5].*

Podemos afirmar, observando os dados biográficos de Einstein, que a sua oposição a uma disciplina rígida na escola, esteve sempre em consonância com a sua rejeição ao militarismo e, conseqüentemente, em sintonia com a sua atitude pacifista.

Em se tratando de um físico, poderíamos pensar que Einstein desse um relevo, sobretudo ao ensino das Ciências; mas, ele nos surpreende com a grandeza de sua atitude ética e vê na Educação, sobretudo, um caminho para algo ainda maior. Ele vê o papel do professor necessário não apenas como alguém que transmite conhecimentos; mas que, sobretudo, contribui para a formação do caráter dos indivíduos. Não basta, portanto, a simples leitura dos manuais de ciência para a formação de uma personalidade integral. Einstein enfatiza aquilo que o jovem precisa desenvolver como algo que o aproxime dos outros seres humanos e, neste processo, ele destaca o papel das humanidades. Assim, o estudante deve:

*Aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar exato em relação a seus próximos na comunidade. Estas reflexões essenciais, comunicadas à jovem geração graças aos contatos vivos com os professores, de forma alguma se encontram escritas nos manuais. É assim que se expressa e se forma de início toda a cultura. Quando recomendo com ardor as 'Humanidades', quero recomendar essa cultura viva, e não um saber fossilizado, sobretudo em História e Filosofia [1].*

Deste modo, podemos perceber a importância que Einstein creditava àquilo que hoje costumamos denominar de inteligência emocional. Ele destaca a importância de aprendermos a "ler os homens". Para ele, não bastava uma formação científica. Para além da alfabetização tradicional, costumava falar, mais recentemente, em alfabetização científica, alfabetização matemática e, mais recentemente ainda, em alfabetização digital. É interessante notar que Einstein, um dos maiores vultos da criação científica de todos os tempos, enfatizava um outro tipo de alfabetização comumente negligenciada pela Escola, uma alfabetização humanística, um aprender a ler os homens, a ler os seus sentimentos, as suas angústias, as suas emoções e as suas necessidades em geral. Tudo isso está ligado à dimensão humana da Educação, que não se esgota jamais na quantidade de conhecimento que possa ser veiculada. Reflexões como esta, inspiradas no pensamento de Einstein, podem servir para que reavaliemos o exagerado otimismo com que os defensores da tão propagada educação a distância têm destacado as suas possibilidades sem levar em conta a necessária dimensão humana do ato educativo.

Referindo-se ao processo de avaliação, Einstein concilia a sua visão geral sobre a formação de uma personalidade integral e de uma consciência crítica com a necessidade de livrar a avaliação do seu caráter tradicionalmente opressivo:

*A sobrecarga do espírito pelo sistema de notas entrava e necessariamente*

transforma a pesquisa em superficialidade e falta de cultura. O ensino deve ser assim: quem o receba o recolha como um dom inestimável, mas nunca como uma obrigação penosa [1].

De fato, não parece recomendável manter os processos tradicionais de avaliação educacional nos quais apenas as competências individuais são valorizadas e as atitudes da solidariedade e da cooperação são marginalizadas. Tradicionalmente, devido à nossa incompetência em avaliar os elementos fundamentais de

**É tarefa essencial do professor despertar a alegria de trabalhar e de conhecer**  
**Albert Einstein**

uma educação integral necessária, costumamos avaliar superficialmente apenas alguns detalhes internos da Ciência lecionada, muitas vezes sem nem mesmo atingirmos os seus fundamentos principais, sem entrarmos em linha de consideração com questões sobre o valor social do conhecimento.

Einstein destaca, também, a importância da alegria no ato de ensinar, vendo-a como um verdadeiro motor da criatividade. Esta valorização do caráter lúdico da Educação encontra, para ele, ressonância na própria atividade do cientista como um indivíduo que busca prazerosamente desvendar os mistérios da natureza.

*É tarefa essencial do professor despertar a alegria de trabalhar e de conhecer.* [1]

Podemos encontrar, no tocante à alegria necessária ao ensino, um paralelo com a atitude adotada por um dos pioneiros do ensino da Física em língua portuguesa, o padre Teodoro de Almeida (1722-1804). No século XVIII ele já enfatizava o caráter lúdico das demonstrações experimentais que exerciam, ao seu ver, um grande fascínio sobre o público. Suas idéias chocavam-se, contudo, com um ensino meramente livresco até então hegemonicamente adotado pelos jesuítas [6].

As ligações abertas pela imbricação entre os mistérios da natureza e a ludicidade no ato educativo têm raízes históricas muito diversas [7] e podem ser exploradas em contextos educativos variados. *O brincar é algo constitutivo do lado existencial das crianças, de-*

*vido ao prazer causado e à sua importância para o desenvolvimento cognitivo* [8]. Mas o brincar não se restringe às crianças, pois, como dizia Nietzsche, em todo ser humano há uma criança que deseja brincar [9].

Einstein, entretanto, não apenas recomenda que a alegria seja introduzida como um fator externo no ato educacional; ele crê, sobretudo, na força do exemplo, de algo que venha de dentro. Para ele: *Não existe uma educação mais inteligente senão aquela em que se toma a si próprio como um exemplo* [1].

Para Einstein, a Educação deve ser a própria expressão da liberdade:

*Na verdade, é quase um milagre que os métodos modernos de instrução não tenham exterminado completamente a sagrada sede de saber, pois essa planta frágil da curiosidade científica necessita, além de estímulo, especialmente de liberdade; sem ela, fenece e morre. É um grave erro supor que a satisfação de observar e pesquisar pode ser promovida por meio da coerção e da noção do dever. Muito ao contrário, acredito que seria possível eliminar por completo a voracidade de um animal predatório obrigando-o, à força, a se alimentar continuamente, mesmo quando não tivesse fome, especialmente se o alimento usado para a coerção fosse escolhido para isso* [10].

As convicções educacionais de Einstein são tão ricas e tão atuais que o pequeno espaço deste artigo não permite mais que um breve olhar sobre as mesmas, uma breve tentativa de acompanhar o poderoso alcance da sua visão educacional. Estudos mais elaborados, nos quais as ligações dessas suas convicções educacionais são explicitadas em termos mais detalhados em relação ao seu mencionado sentimento humanista e à sua visão epistemológica sobre a produção do conhecimento (concatenados à sua forte religiosidade cósmica), podem ser encontrados no livro de Medeiros e Medeiros [2]. Tal estudo mais detalhado focaliza, ainda, as sintonias existentes entre o pensamento educacional de Einstein e aqueles preo-

nizados por John Dewey.

Para concluir este presente texto, vale mencionar ainda o papel transcendental que Einstein reservava à Educação, um papel que ele via como ligado à própria imortalidade do ser humano enquanto um ser cultural e histórico:

*Pensem que todas as maravilhas, objetos de seus estudos, são a obra de muitas gerações, uma obra coletiva que exige de todos um esforço entusiasta e um labor difícil e impreterível. Tudo isto, nas mãos de vocês, se torna uma herança. Vocês a recebem, respeitamina, aumentam-na e, mais tarde, irão transmiti-la fielmente à sua descendência. Deste modo, somos imortais, porque criamos juntos obras que nos sobrevivem. Se refletirem seriamente sobre isso, encontrarão um sentido para a vida e para o progresso. E o julgamento que fizerem sobre os outros homens e as outras épocas será mais verdadeiro.* [1]

Enfim, Einstein enfatiza a importância da Educação como uma forma do ser humano transcender a sua finitude e de buscar na preservação e desenvolvimento da cultura, a sua própria eternidade.

## Referências

- [1] Albert Einstein, *Como Vejo o Mundo* (Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1981).
- [2] Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Einstein e a Educação* (No prelo, 2005).
- [3] Cleide Medeiros e Alexandre Medeiros, *Ciência & Educação* **9**, 261 (2003).
- [4] Bento de Jesus Caraça, *A Cultura Integral do Indivíduo - Problema Central do Nosso Tempo*, in, *Bento de Jesus Caraça: Conferências e Outros Escritos* (Tipografia Antonio Coelho Dias, Lisboa, 1978).
- [5] Brasil. *PCNs+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (MEC, SEMTEC, Brasília, 2002).
- [6] Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Acta Scientiarum* **24**, 1679 (2002).
- [7] Alexandre Medeiros e Cleide Medeiros, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 1 (2003).
- [8] Cleide Medeiros e Alexandre Medeiros, *ABCEducatio* **5**, 10 (2004).
- [9] Friedrich Nietzsche, *Assim Falou Zaratustra* (Martin Claret, São Paulo, 2005).
- [10] Albert Einstein, *Notas Autobiográficas* (Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1982).



# Olimpíadas de FÍSICA

.....  
**Fábio Fernandes Siqueira**  
Assessor de Imprensa  
.....

**A Olimpíada Brasileira de Física é um projeto permanente da Sociedade Brasileira de Física e único passaporte para as Olimpíadas Internacionais de Física**

Esta coluna apresenta notícias sobre a Olimpíada Brasileira de Física e outras olimpíadas internacionais.

## **A Física das Medalhas**

**No “Ano Mundial da Física”,  
Brasil destaca-se em competições internacionais**

No ano Mundial da Física, estudantes brasileiros brilham e conquistam medalhas em duas Olimpíadas Internacionais de Física. As duas equipes, selecionadas e preparadas pela Olimpíada Brasileira de Física, representaram o Brasil na 36ª International Physics Olympiad (IPhO), ocorrida na Espanha em julho, e na X Olimpíada Iberoamericana de Física (OIBF) ocorrida em setembro, no Uruguai.

Na sua sexta participação na International Physics Olympiad o Brasil, com a equipe formada pelos estudantes André Fernando de C. Silva (SP), Aron A. Heleodoro (SP), Felipe Benincasa (SP), Gabriel de Sá M. de Araújo (PE) e José Mário da S. Filho (CE), e acompanhada pelo Professor Fernando Moraes, da UFPA, conquistou uma medalha de bronze (José Mário) e duas menções honrosas (André e Aron), entre alunos de mais de 70 delegações de toda parte do mundo. O medalhista comenta suas preferências: “Sem dúvida prefiro eletromagnetismo, é uma matéria bonita”. Para María Jesús, Ministra da Ciência e Educação da Espanha, “São jovens cientistas de diferentes países, falando diferentes línguas, com diversas religiões, crenças e costumes, todos juntos por um denominador comum: a dedicação deles ao estudo da Física”.

Na Olimpíada Ibero-americana de Física (OIBF), os estudantes brasileiros obtiveram o primeiro lugar por equipe com duas medalhas de ouro, An-

tonio Augusto M. Zambon (SP) e Douglas Bokliang A. Cunha (SP), uma medalha de prata, Jorge Augusto M. Gonçalves (SP), e uma medalha de bronze, Rômulo Costa Mendes (CE), além da melhor pontuação individual do estudante Douglas Cunha. O Professor Carlito Lariucci (UFG), que acompanhou a equipe brasileira nesta Olimpíada, descreve a combinação que possibilitou a performance: “Envolve o empenho do aluno e da escola, assim como o treinamento complementar que a OBF e a SBF oferecem e as conversas que tivemos sobre as questões experimentais”.

“Sempre gostei de exatas, prefiro a física moderna, pois ela é mais abstrata. Muda a realidade e nosso modo de pensar”, comenta Jorge Augusto que, além da Física, também gosta de literatura, principalmente Lima Barreto. “Me identifico com a maneira realista com que ele vê a sociedade”. Para Rômulo, o interesse por Física vem desde pequeno. “A Física está presente na vida muito antes de termos os contatos com os livros. Basta ser curioso”. Ele exemplifica relatando sua própria experiência. “Se você gosta de carro poderá gostar da mecânica clássica”, diz o estudante que tem o automobilismo como esporte favorito e prefere a física Newtoniana por ser mais “palpável”.

Em seis participações, esta é a segunda vez que a equipe brasileira fica com a melhor classificação na Ibero-



Equipe Brasileira na IPhO (Gabriel de Sá M. de Araújo, André Fernando de Castro da Silva, Felipe Benincasa, Aron Alexandre Heleodoro, José Mário da Silva Filho)

americana. Em 2004, quando o Brasil estreou como sede de uma olimpíada internacional de Física, nossos estudantes obtiveram igual desempenho. A IX OIBF, ocorrida em Salvador sob a coordenação do presidente da Comissão da OBF, Professor José David Vianna, contou com a participação de 18 países. Suas atividades englobando provas, palestras e *workshop* sobre o ensino da Física nos países ibero-americanos, foram desenvolvidas no Instituto de Física da UFBA. Nossa equipe campeã conquistou duas medalhas de ouro, uma de prata e uma de bronze, ficando a Espanha em segundo lugar, e Argentina e Cuba em terceiro.

A participação brasileira nas competições internacionais ocorre com equipes selecionadas por meio da Olimpíada Brasileira de Física, que é um projeto da SBF do qual participam alunos do Ensino Médio de todo país. A OBF tem, dentre seus objetivos, divulgar a Física e incentivar, entre professores e estudantes do Ensino Médio, o interesse por essa ciência, visando também motivar os alunos para que sigam carreiras científico-tecnológicas. Além disso, utilizando informações obtidas por meio de avaliações nacionais e participações internacionais, contribuir para o diagnóstico e melhoria do ensino de Física nesse nível.

A Comissão da Olimpíada analisa a evolução da OBF e cita os bons resultados obtidos pelas equipes da OBF em suas participações nas Olimpíadas Internacionais. Ela enfatiza que, antes

de tudo, deve-se registrar o importante papel que a Olimpíada vem desempenhando ao entusiasmar professores e estudantes de uma a outra ponta do País.

Para exemplificar, basta observar que a Olimpíada Brasileira de Física teve, em 2000, a participação de 7500 alunos e em 2005 conseguiu aumentar o número de maneira significativa, envolvendo cerca de 50 mil

estudantes de todas as unidades da Federação e contando com a colaboração de aproximadamente 5 mil professores de Física do Ensino Médio.

Ao se referir à melhoria no desempenho das equipes, o professor Vianna destaca o processo de seleção e preparação dos alunos pela OBF. “O acompanhamento e preparação dos estudantes selecionados pela OBF não é uma tarefa fácil, já que os estudantes encontram-se em estados diferentes e dentro de cada estado em cidades muitas vezes distantes da sede onde se encontra o Coordenador Estadual”, observa o professor.

Essas dificuldades podem ser diminuídas com a utilização de recursos que permitam a comunicação entre estudantes e professores de diversas partes do País. Assim a OBF adquiriu, com recursos do CNPq, um sistema de vídeo-conferência com base na sede da Sociedade Brasileira de Física.

A preparação das equipes brasileiras para as Olimpíadas Internacionais de 2004 e 2005 foi realizada com o acompanhamento de professores e Coordenadores Estaduais, através de discussões e palestras usando esse sistema, sob a supervisão do professor Euclides Marega, atual coorde-

nador da OBF em São Paulo. Para os próximos anos, pretende-se usar o sistema também para reuniões e orientações dos professores de Física, colaboradores da OBF, realizando atividades diversas. Também está entre os projetos da OBF para os próximos anos a realização de oficinas destinadas aos professores e a edição de textos com problemas e desafios olímpicos.

### Medalhistas vão ao CNPq

Acompanhados pelo presidente da SBF, Professor Adalberto Fazzio, o presidente da Comissão da OBF, professor José David Vianna, os Coordenadores da OBF em Goiás e DF, professores Carlito Lariucci (UFG) e Antonio Pedroza (UnB), além da Secretária da OBF, Sueli Mori, os nossos medalhistas nas duas Olimpíadas Internacionais neste ano foram recebidos em Brasília pelo presidente do CNPq, professor Erney Plessman. A Olimpíada Brasileira de Física tem, desde 2000, através de projetos aprovados a cada ano, contado com o importante e fundamental apoio do CNPq. Os estudantes premiados conversaram com os dirigentes da Instituição e dois deles externaram a decisão de seguir carreiras científicas, o que reforça a importância de iniciativas como a Olimpíada Brasileira de Física.

### Para Saber Mais

Visite o portal [www.sbfisica.org.br/olimpiadas](http://www.sbfisica.org.br/olimpiadas).



Equipe Brasileira na OIBF (Prof. Carlito Lariucci, Jorge Augusto Melegati Gonçalves, Rômulo Costa Mendes, Antonio Augusto M. Zambon, Douglas Bokliang A. Cunha)

# Utilização da Olimpíada Brasileira de Astronomia como Introdução à Física Moderna no Ensino Médio

.....  
**Adilio Jorge Marques**

Colégio Santo Inácio, RJ

E-mail: adiliojm@yahoo.com.br.  
.....

.....  
**Cláudio Elias da Silva**

Instituto de Física

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: claudio@uerj.br.  
.....

## Introdução

**A**tualmente ocorre um movimento de maior interesse pela pesquisa em física moderna e contemporânea (FMC) inserida na grade curricular do Ensino Médio. Muitos livros didáticos vêm trazendo em seu conteúdo comentários, partes ou capítulos dedicados ao assunto, porém normalmente destacados do contexto do restante da obra e mesmo da realidade brasileira quanto a conteúdos curriculares. Não é escopo deste trabalho analisar os livros didáticos sob a ótica da FMC. Porém, a proposta da introdução da FMC no Ensino Médio através de projetos paralelos é uma alternativa a ser considerada, seja através do estudo de um único tema em projetos específicos ou mesmo de vários tópicos da FMC quando tratar-se de um projeto pensado para ocorrer durante todo o ano letivo. No caso da experiência aqui relatada, começou como uma proposta para dois meses, mas que se estendeu por mais cinco meses devido à existência de um projeto paralelo que já existia no Colégio chamado 'Monitoria Discente'.

A atual legislação educacional brasileira incentiva o ensino de novas tecnologias e conteúdos, deixando livre às escolas a adaptação curricular e quais as competências e habilidades em Física que os alunos devem adquirir [1]. Sabemos que a quebra de paradigmas educacionais muitas das vezes é lenta,

enfrentando a oposição de setores da própria educação. A idéia é que acontecimentos ou projetos como a OBA podem e devem ser utilizados de muitas maneiras, onde "como recurso pedagógico, infelizmente, são pouco explorados. Fora do Brasil existem há muitos anos" [2].

A motivação discente pode começar também pelo processo de alfabetização científica, sendo que esta deve ser separada do conhecimento adquirido pelo senso comum. O interesse pela FMC no Colégio Santo Inácio intensificou-se através da amostra sobre astronomia. As relações de causa e efeito facilitam para muitos o mecanismo do aprendizado. Porém, dentro da realidade do ensino, nem sempre é possível uma experiência prática de todos os temas estudados. O que não deve impedir a inclusão de qualquer assunto, contanto que haja uma motivação. Podemos então fazer da OBA uma destas motivações discentes? E, por que não, promover um salto cognitivo do próprio educador?

As exposições realizadas em nosso projeto foram conceituais e sem a preocupação matemática inerente a muitos livros didáticos ou mesmo como encontrado normalmente na Internet. A proposta era fazer um

aprofundamento conceitual da FMC através da astronomia.

## A motivação e o estudo da FMC

O evento da V OBA em 2004 mobilizou o Colégio Santo Inácio (e o

**A proposta da introdução da FMC no Ensino Médio através de projetos paralelos é uma alternativa a ser considerada, seja através do estudo de um único tema em projetos específicos ou mesmo de vários tópicos da FMC durante todo o ano letivo**

É possível utilizar um projeto ou atividade extracurricular, como a Olimpíada Brasileira de Astronomia (hoje também de astronáutica), doravante OBA, para introduzir a física moderna no Ensino Médio? Esta é a proposta deste trabalho a partir da experiência no Colégio Santo Inácio no Rio de Janeiro, RJ, ocorrida no primeiro semestre de 2004. A OBA atinge desde o Ensino Fundamental até alunos do 3º ano do Ensino Médio. Com tal faixa de atuação, durante os meses de março e abril até a prova da Olimpíada, em maio, foram realizadas aulas expositivas aos participantes sobre aspectos da astronomia. A questão inicial era melhor preparar nossos alunos para o exame da V OBA. Porém, com as exposições e discussões, muitos alunos desejaram e foram além do esperado, buscando um maior aprofundamento em questões que estão fora da grade curricular e dentro do que se estabeleceu por física moderna e contemporânea.

Brasil), fazendo com que um número recorde (para a nossa história de participações) de inscritos aparecesse: mais de 35, onde 24 alunos fizeram a prova (em 2003 foram apenas dois participantes!).

Como o tema astronomia não é muito discutido na maioria das escolas brasileiras, resolvemos disponibilizar um material de estudo na biblioteca. O capítulo de gravitação surge para nossos alunos (em nossa grade curricular particular) apenas no início do 2º ano do Ensino Médio. Logo, os alunos pediram que aulas expositivas fossem dadas sobre temas de astronomia, visando a prova em maio. Organizamos as aulas na parte da tarde dentro de outro projeto do Colégio chamado de 'Monitoria de Física', trabalho interno de pesquisa discente em Física inaugurado também em 2004.

As aulas semanais foram organizadas à tarde (as aulas regulares são pela manhã), de modo a permitir a participação dos alunos através de perguntas e pesquisas individuais, de maneira que pudéssemos ligar o nível de aprendizado adquirido até o momento com o que seria cobrado na prova. A turma que se formou tinha alunos do 1º e 2º anos do Ensino Médio, apesar da abrangência da OBA ser maior, como dissemos anteriormente. Durante as aulas propusemos a exposição de variados temas, tais como:

- formação de corpos celestes: planetas, luas, cometas, asteróides, o sistema solar;
- a Terra e a Lua; seus movimentos; força de Coriolis;
- observação de corpos celestes;
- estações do ano;
- Sol; estrelas de variados tipos;
- a Via Láctea; galáxias;
- relatividade restrita;
- buracos negros;
- discussão de provas antigas;
- termos astronômicos.

Através de vídeos, figuras, gráficos, provas anteriores da Olimpíada, simulações e sítios da Internet sobre os temas citados, procurou-se passar uma quantidade de informação que era totalmente nova para muitos, apesar de que terem alguma noção sobre astronomia apenas através da curiosidade por programas de canal

fechado e revistas de divulgação científica, ou ainda pelo estudo das Leis de Newton e Kepler (2º ano).

A participação foi intensa e muitos se sentiram motivados a continuar a ler e pesquisar sobre o assunto mesmo depois da prova. Uma minoria achou que não teria tempo de entender mais sobre o assunto e obter sucesso, afastando-se logo no início. Mas a maior parte do grupo original que permaneceu não só resolveu discutir os temas propostos como levantou dúvidas relativas à astronomia e que permeiam a física moderna e contemporânea. Alguns dos temas abordados, derivados das provas anteriores e das aulas/discussões estão abaixo assinaladas. Procuramos destacar, antes das perguntas coletadas dos alunos, as áreas da FMC que abordam o assunto em questão:

- relatividade especial: como o tempo e o espaço podem variar com o aumento da velocidade? Podemos viajar no tempo? Como Einstein chegou aos princípios da relatividade?
- quântica: A natureza da luz: onda ou partícula? Como as cores atuam no espalhamento? O que é o modelo padrão?
- relatividade geral: a luz pode ser desviada por corpos muito maciços? O espaço é curvo?
- nuclear: Os processos nucleares dentro das estrelas mostradas através no diagrama H-R podem ser reproduzidos pelo homem? Como os elementos se formam? É o mesmo que acontece nas usinas nucleares?

## Conclusões

Após a prova da V OBA o projeto de 'Monitoria Discente' continuou à tarde e alguns destes temas foram conceitualmente aprofundados. A utilização de montagens para o estudo do espectro das ondas eletromagnéticas e do espectro motivou pesquisas teóricas sobre corpo negro e as relações físicas e históricas com a mecânica quântica [3].

Buscamos contextualizar a FMC envolvendo sempre no início a astronomia. Após a prova da V OBA con-

cluímos que a astronomia serviu como ponto de partida para as pesquisas em FMC.

A realização de testes e provas bimestrais nos colégios sempre promove uma interrupção na proposta deste projeto, quando este for de longo período, como ocorre com a nossa 'Monitoria Discente'. Mas não reduziu a interação dos alunos com o tema FMC e pesquisa em Física.

Após a experiência de 2004 acima relatada, pareceu-nos possível propor o ensino da FMC através da astronomia. Não foi possível (ainda) abrir espaço na grade curricular do Colégio Santo Inácio para a FMC, principalmente devido ao modelo de vestibular adotado em nosso país, mas projetos independentes, de curta ou longa duração, podem ser ministrados com alunos que realmente se interessem pelo tema, motivando os demais e demonstrando a importância da FMC para toda a escola. Mostras de História da Ciência ou Feiras de Ciências/Tecnologia são exemplos. O próprio aumento drástico de interesse pela OBA em nosso Colégio mostra que a persistência e a divulgação podem levar à criação de uma cultura que propicie a inclusão da FMC nas escolas brasileiras.

A importância da astronomia na história das civilizações humanas, sua relação direta com o início e existência da vida na Terra e talvez fora dela e, os processos químicos envolvidos, podem ser motivadores para projetos interáreas, contextualizando os conteúdos ensinados [4].

## Referências

- [1] F. Ostermann, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **19**, 176 (2002).
- [2] J.B.G. Canalle, D.F. Lavouras; R.H. Trevisan, C.M.R. de Souza, E.S. Júnior e G.B. Afonso, Física na Escola v. **3**, n. 2, 11 (2002).
- [3] C.R.C. Tavoraro e M.A. Cavalcante, *Física Moderna e Experimental* (Ed. Manole, São Paulo, 2003).
- [4] A.C. Lopes, *Políticas de Currículo: Mediação por Grupos Disciplinares de Ensino de Ciências e Matemática*, in *Currículo de Ciências em Debate* (Papyrus Editora, Campinas, 2003), cap. 2, p. 45-75.

# Utilização da Olimpíada Brasileira de Astronomia como Introdução à Física Moderna no Ensino Médio

.....  
**Adilio Jorge Marques**

Colégio Santo Inácio, RJ

E-mail: adiliojm@yahoo.com.br.  
.....

.....  
**Cláudio Elias da Silva**

Instituto de Física

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

E-mail: claudio@uerj.br.  
.....

## Introdução

**A**tualmente ocorre um movimento de maior interesse pela pesquisa em física moderna e contemporânea (FMC) inserida na grade curricular do Ensino Médio. Muitos livros didáticos vêm trazendo em seu conteúdo comentários, partes ou capítulos dedicados ao assunto, porém normalmente destacados do contexto do restante da obra e mesmo da realidade brasileira quanto a conteúdos curriculares. Não é escopo deste trabalho analisar os livros didáticos sob a ótica da FMC. Porém, a proposta da introdução da FMC no Ensino Médio através de projetos paralelos é uma alternativa a ser considerada, seja através do estudo de um único tema em projetos específicos ou mesmo de vários tópicos da FMC quando tratar-se de um projeto pensado para ocorrer durante todo o ano letivo. No caso da experiência aqui relatada, começou como uma proposta para dois meses, mas que se estendeu por mais cinco meses devido à existência de um projeto paralelo que já existia no Colégio chamado 'Monitoria Discente'.

A atual legislação educacional brasileira incentiva o ensino de novas tecnologias e conteúdos, deixando livre às escolas a adaptação curricular e quais as competências e habilidades em Física que os alunos devem adquirir [1]. Sabemos que a quebra de paradigmas educacionais muitas das vezes é lenta,

enfrentando a oposição de setores da própria educação. A idéia é que acontecimentos ou projetos como a OBA podem e devem ser utilizados de muitas maneiras, onde "como recurso pedagógico, infelizmente, são pouco explorados. Fora do Brasil existem há muitos anos" [2].

A motivação discente pode começar também pelo processo de alfabetização científica, sendo que esta deve ser separada do conhecimento adquirido pelo senso comum. O interesse pela FMC no Colégio Santo Inácio intensificou-se através da amostra sobre astronomia. As relações de causa e efeito facilitam para muitos o mecanismo do aprendizado. Porém, dentro da realidade do ensino, nem sempre é possível uma experiência prática de todos os temas estudados. O que não deve impedir a inclusão de qualquer assunto, contanto que haja uma motivação. Podemos então fazer da OBA uma destas motivações discentes? E, por que não, promover um salto cognitivo do próprio educador?

As exposições realizadas em nosso projeto foram conceituais e sem a preocupação matemática inerente a muitos livros didáticos ou mesmo como encontrado normalmente na Internet. A proposta era fazer um

aprofundamento conceitual da FMC através da astronomia.

## A motivação e o estudo da FMC

O evento da V OBA em 2004 mobilizou o Colégio Santo Inácio (e o

**A proposta da introdução da FMC no Ensino Médio através de projetos paralelos é uma alternativa a ser considerada, seja através do estudo de um único tema em projetos específicos ou mesmo de vários tópicos da FMC durante todo o ano letivo**

É possível utilizar um projeto ou atividade extracurricular, como a Olimpíada Brasileira de Astronomia (hoje também de astronáutica), doravante OBA, para introduzir a física moderna no Ensino Médio? Esta é a proposta deste trabalho a partir da experiência no Colégio Santo Inácio no Rio de Janeiro, RJ, ocorrida no primeiro semestre de 2004. A OBA atinge desde o Ensino Fundamental até alunos do 3º ano do Ensino Médio. Com tal faixa de atuação, durante os meses de março e abril até a prova da Olimpíada, em maio, foram realizadas aulas expositivas aos participantes sobre aspectos da astronomia. A questão inicial era melhor preparar nossos alunos para o exame da V OBA. Porém, com as exposições e discussões, muitos alunos desejaram e foram além do esperado, buscando um maior aprofundamento em questões que estão fora da grade curricular e dentro do que se estabeleceu por física moderna e contemporânea.

Brasil), fazendo com que um número recorde (para a nossa história de participações) de inscritos aparecesse: mais de 35, onde 24 alunos fizeram a prova (em 2003 foram apenas dois participantes!).

Como o tema astronomia não é muito discutido na maioria das escolas brasileiras, resolvemos disponibilizar um material de estudo na biblioteca. O capítulo de gravitação surge para nossos alunos (em nossa grade curricular particular) apenas no início do 2º ano do Ensino Médio. Logo, os alunos pediram que aulas expositivas fossem dadas sobre temas de astronomia, visando a prova em maio. Organizamos as aulas na parte da tarde dentro de outro projeto do Colégio chamado de 'Monitoria de Física', trabalho interno de pesquisa discente em Física inaugurado também em 2004.

As aulas semanais foram organizadas à tarde (as aulas regulares são pela manhã), de modo a permitir a participação dos alunos através de perguntas e pesquisas individuais, de maneira que pudéssemos ligar o nível de aprendizado adquirido até o momento com o que seria cobrado na prova. A turma que se formou tinha alunos do 1º e 2º anos do Ensino Médio, apesar da abrangência da OBA ser maior, como dissemos anteriormente. Durante as aulas propusemos a exposição de variados temas, tais como:

- formação de corpos celestes: planetas, luas, cometas, asteróides, o sistema solar;
- a Terra e a Lua; seus movimentos; força de Coriolis;
- observação de corpos celestes;
- estações do ano;
- Sol; estrelas de variados tipos;
- a Via Láctea; galáxias;
- relatividade restrita;
- buracos negros;
- discussão de provas antigas;
- termos astronômicos.

Através de vídeos, figuras, gráficos, provas anteriores da Olimpíada, simulações e sítios da Internet sobre os temas citados, procurou-se passar uma quantidade de informação que era totalmente nova para muitos, apesar de que terem alguma noção sobre astronomia apenas através da curiosidade por programas de canal

fechado e revistas de divulgação científica, ou ainda pelo estudo das Leis de Newton e Kepler (2º ano).

A participação foi intensa e muitos se sentiram motivados a continuar a ler e pesquisar sobre o assunto mesmo depois da prova. Uma minoria achou que não teria tempo de entender mais sobre o assunto e obter sucesso, afastando-se logo no início. Mas a maior parte do grupo original que permaneceu não só resolveu discutir os temas propostos como levantou dúvidas relativas à astronomia e que permeiam a física moderna e contemporânea. Alguns dos temas abordados, derivados das provas anteriores e das aulas/discussões estão abaixo assinaladas. Procuramos destacar, antes das perguntas coletadas dos alunos, as áreas da FMC que abordam o assunto em questão:

- relatividade especial: como o tempo e o espaço podem variar com o aumento da velocidade? Podemos viajar no tempo? Como Einstein chegou aos princípios da relatividade?
- quântica: A natureza da luz: onda ou partícula? Como as cores atuam no espalhamento? O que é o modelo padrão?
- relatividade geral: a luz pode ser desviada por corpos muito maciços? O espaço é curvo?
- nuclear: Os processos nucleares dentro das estrelas mostradas através no diagrama H-R podem ser reproduzidos pelo homem? Como os elementos se formam? É o mesmo que acontece nas usinas nucleares?

## Conclusões

Após a prova da V OBA o projeto de 'Monitoria Discente' continuou à tarde e alguns destes temas foram conceitualmente aprofundados. A utilização de montagens para o estudo do espectro das ondas eletromagnéticas e do espectro motivou pesquisas teóricas sobre corpo negro e as relações físicas e históricas com a mecânica quântica [3].

Buscamos contextualizar a FMC envolvendo sempre no início a astronomia. Após a prova da V OBA con-

cluímos que a astronomia serviu como ponto de partida para as pesquisas em FMC.

A realização de testes e provas bimestrais nos colégios sempre promove uma interrupção na proposta deste projeto, quando este for de longo período, como ocorre com a nossa 'Monitoria Discente'. Mas não reduziu a interação dos alunos com o tema FMC e pesquisa em Física.

Após a experiência de 2004 acima relatada, pareceu-nos possível propor o ensino da FMC através da astronomia. Não foi possível (ainda) abrir espaço na grade curricular do Colégio Santo Inácio para a FMC, principalmente devido ao modelo de vestibular adotado em nosso país, mas projetos independentes, de curta ou longa duração, podem ser ministrados com alunos que realmente se interessem pelo tema, motivando os demais e demonstrando a importância da FMC para toda a escola. Mostras de História da Ciência ou Feiras de Ciências/Tecnologia são exemplos. O próprio aumento drástico de interesse pela OBA em nosso Colégio mostra que a persistência e a divulgação podem levar à criação de uma cultura que propicie a inclusão da FMC nas escolas brasileiras.

A importância da astronomia na história das civilizações humanas, sua relação direta com o início e existência da vida na Terra e talvez fora dela e, os processos químicos envolvidos, podem ser motivadores para projetos interáreas, contextualizando os conteúdos ensinados [4].

## Referências

- [1] F. Ostermann, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **19**, 176 (2002).
- [2] J.B.G. Canalle, D.F. Lavouras; R.H. Trevisan, C.M.R. de Souza, E.S. Júnior e G.B. Afonso, Física na Escola v. **3**, n. 2, 11 (2002).
- [3] C.R.C. Tavoraro e M.A. Cavalcante, *Física Moderna e Experimental* (Ed. Manole, São Paulo, 2003).
- [4] A.C. Lopes, *Políticas de Currículo: Mediação por Grupos Disciplinares de Ensino de Ciências e Matemática*, in *Currículo de Ciências em Debate* (Papyrus Editora, Campinas, 2003), cap. 2, p. 45-75.

# Prêmio Nobel de Física de 2005: Roy J. Glauber, O Fundador da Óptica Quântica Teórica

.....  
**Salomon S. Mizrahi**

Departamento de Física  
Universidade Federal de São Carlos  
.....

Vamos tentar localizar a contribuição de Glauber no contexto histórico do eletromagnetismo. Em 1905, Einstein reintroduziu, em base heurística, a noção de corpúsculo de luz (em parte, um retorno a Isaac Newton). Ele chegou a essa conclusão devido à descoberta de que as propriedades estatísticas da radiação (interpretada de acordo com o eletromagnetismo clássico) e de um conjunto de corpúsculos (quanta de luz) eram equivalentes se cada corpúsculo tivesse energia  $E = hv$ , onde  $h$  é a constante de Planck e  $v$  é a frequência da radiação. Com isso ele deu uma explicação ao efeito fotoelétrico, notando que, no espectro da radiação ultravioleta e não da luz visível, um elétron é ejetado de um metal quando absorve um quantum de energia  $hv$ , adquirindo uma energia cinética  $K = hv - \phi$ , sendo  $\phi$  a energia necessária para arrancá-lo do metal.

A invenção e desenvolvimento formal da mecânica quântica e a formulação da teoria quântica da radiação deram ao fóton o *status* de um objeto de natureza dual, partícula-onda. Dependendo do experimento projetado, comporta-se como onda, como em experiências de interferência e de difração, ou como partícula, no caso do efeito fotoelétrico.

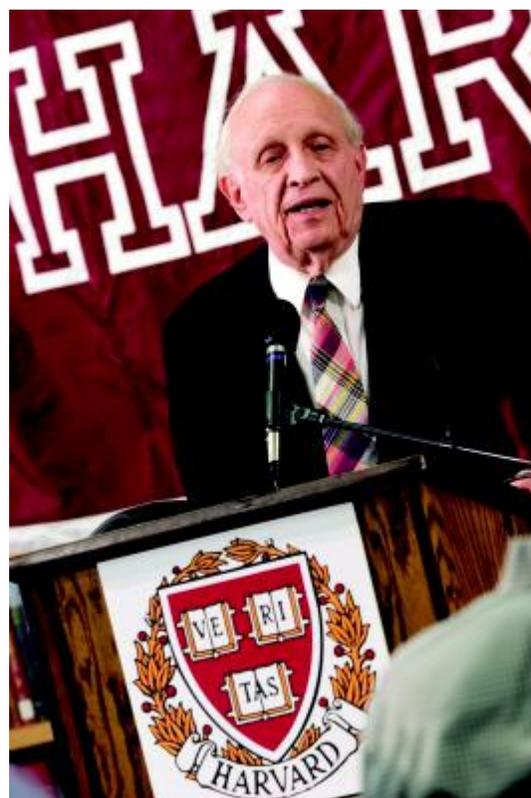
Uma das grandes contribuições de Paul Dirac, um dos co-fundadores da mecânica quântica, ocorreu em 1927, quando ele publicou um estudo sobre a interação da radiação -

como um campo eletromagnético quantizado - com a matéria (um átomo descrito pelas leis da mecânica quântica). Em sua teoria, ele conseguiu deduzir os coeficientes de emissão espontânea e induzida (anteriormente propostos em 1917 por Einstein na sua teoria da radiação). Assim ficou estabelecido o início da eletrodinâmica quântica.

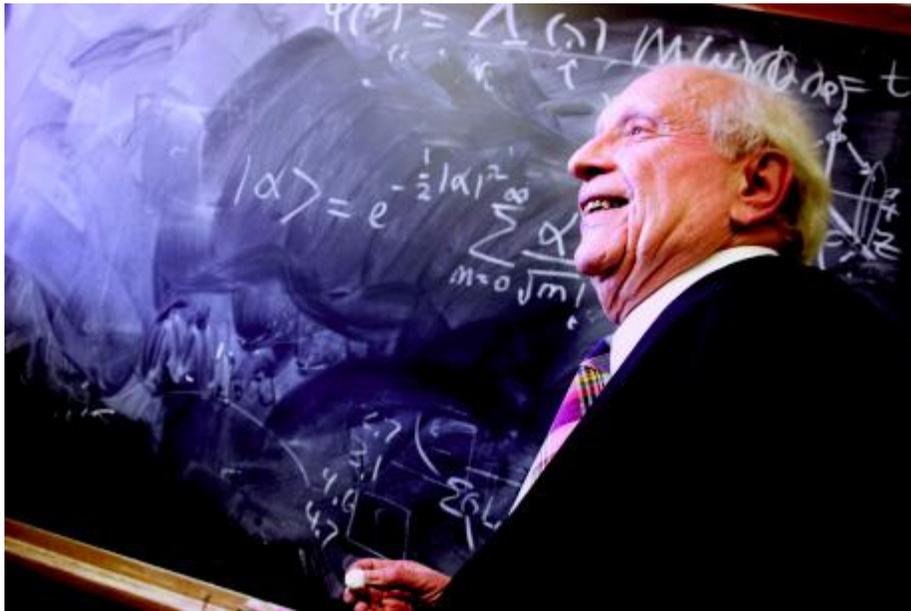
Ainda de acordo com Dirac, o fóton interfere com ele mesmo, pois fazendo passar fótons, seqüencialmente, um a um, (com lapso de tempo entre as passagens), por um anteparo contendo duas fendas, como no experimento feito por Young no início

---

O físico norte-americano Roy J. Glauber, professor da prestigiosa Universidade de Harvard, foi contemplado com o Prêmio Nobel de Física de 2005. O professor Glauber divide o prêmio com outros dois físicos; o também norte-americano John L. Hall (25% do prêmio), da Universidade do Colorado, e o alemão Theodor W. Hänsch (25% do prêmio) do Instituto Max Planck de Munique, Alemanha. O prêmio foi concedido ao professor Glauber em reconhecimento pelo seu trabalho pioneiro sobre a natureza e comportamento da luz.



Professor Roy J. Glauber fala em uma conferência.



O prof. Roy J. Glauber em Harvard. Note no quadro negro atrás dele sua equação sobre os estados coerentes da luz (foto de Justin Ide/Harvard University).

do século XIX, na tela situada por trás do anteparo forma-se uma figura de interferência conforme mostrado na Fig. 1. Mas essa experiência era sempre realizada usando uma luz comum de intensidade muito tênue. Primeiro porque era a única disponível. Segundo porque pressupunha-se, erroneamente, que bastava uma fonte de luz emitir radiação com baixíssima inten-

sidade para que fosse considerada como constituída de fótons. Portanto, a teoria quântica da radiação não era uma teoria conclusiva, pois bastaria considerar que a matéria é quantizada, e não a radiação, para explicar todos os fenômenos até então observados e medidos. Não haveria a necessidade de quantizar o campo eletromagnético. Essa é chamada teoria semi-clássica da radiação.

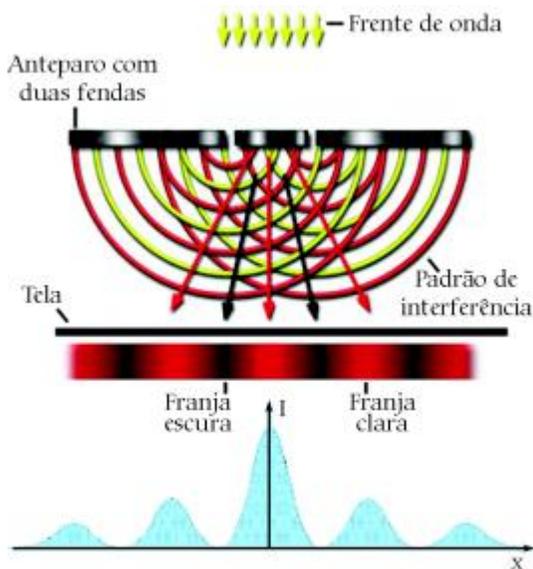


Figura 1: Fonte emissora de “ondas planas” que atravessam um anteparo que contém duas fendas. As fendas funcionam como fontes coerentes (mesma fase), de radiação que interferem entre si. O padrão de interferência manifesta-se pelas diferentes intensidades da radiação incidente sobre uma tela.

Assim, sem ser totalmente elucidada a existência do fóton no contexto da óptica, ou seja, até a frequência da luz visível e no ultravioleta (embora já tivesse se comprovado sua existência real em frequências mais altas, como no espalhamento Compton na frequência dos raios X, e na aniquilação de par elétron-pósitron, com a produção de um raio gama) os físicos ensinavam, pesquisavam e usavam a teoria quântica da radiação corriqueiramente. Não obstante, existiam algumas dificuldades conceituais na interação radiação-matéria: o campo eletromagnético arrastado junto com um elétron em movimento implicava em uma massa infinita para o mesmo, e este era apenas um dos vários “infinitos” pre-

sentes na teoria. Essas dificuldades só foram contornadas no final da década de 1940, quando foi criada a eletrodinâmica quântica (EDQ), uma teoria baseada na relatividade restrita, na própria mecânica quântica e na noção de campo eletromagnético quantizado. Com o novo arcabouço formal bem estruturado, tornou-se possível descrever com rigor a interação entre partículas providas de massa, carga, dipolo magnético, dipolo elétrico, etc...e os quanta de luz. A EDQ tornou-se capaz de explicar com notável precisão todos os fenômenos de interação da radiação com a matéria. A elaboração da EDQ rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1965 ao físico japonês S. Tomonaga e aos norte-americanos J. Schwinger e R.P. Feynman, seus principais inventores, embora muitos outros tivessem contribuído para a teoria.

A EDQ foi usada para tratar processos de colisões entre partículas elementares de altas energias, pois se supunha que os efeitos quânticos não se manifestariam significativamente nas observações em óptica a baixas energias. Em um dos artigos de 1963, Glauber escreve que “...a teoria quântica teve apenas uma fração da influência sobre a óptica (clássica) do que a óptica teve, historicamente, sobre a teoria quântica. E a explicação, sem dúvida, está no fato de que até hoje experimentos em óptica deram muito pouca atenção a fótons individuais”. Na medida em que as observações em óptica se limitam a medições de intensidades de luz ordinária, não é surpreendente que a teoria clássica consiga oferecer uma percepção simples e essencialmente correta. Mesmo até 1964 especialistas em óptica experimental afirmavam que “...nas condições em que flutuações da luz são medidas por detectores fotoelétricos, o tratamento semi-clássico da radiação se aplica tanto a campos de origem térmica como não térmica...”. Como exemplo, vamos comparar dois resultados sobre correlação de intensidades, um obtido com o tratamento clássico e o outro, devido a Glauber, essencialmente quântico.

Com a intenção de calibrar equipamentos necessários para calcular

distâncias entre objetos celestes luminosos, em 1956 dois astrofísicos britânicos, R. Hanbury Brown e R.Q. Twiss, montaram em seu laboratório uma fonte de luz monocromática e térmica (chamada luz incoerente) que faziam passar por um divisor de feixe e depois mediam a probabilidade conjunta de detecção dos pulsos das foto-correntes produzidas pelos dois sub-feixes em detectores espaçados. Como resultado de suas medições de correlação intensidade-intensidade,

**A grande contribuição de Glauber foi ter criado, em trabalhos seminais publicados em 1963, uma teoria eminentemente quântica sobre a coerência, de múltiplas ordens, da radiação eletromagnética**

Hanbury Brown e Twiss concluíram que os fótons chegavam aglomerados aos pares, um em cada detector (*bunching*) e interpretaram a forte correlação entre os feixes como indício do caráter fotônico da luz. Em 1957, o físico E.M. Purcell afirmou que o efeito poderia ter uma interpretação clássica, mas presumia que deveria ser devido à natureza quântica da luz e que finalmente o fóton, como entidade individual, entrava em cena na óptica. De certa forma isto acabou se confirmando em 1960, quando foi produzida a primeira fonte de luz coerente, o laser, de natureza totalmente diferente das fontes usuais artificiais ou naturais que emitem uma radiação dita térmica ou caótica (como a luz ordinária artificial e a luz do Sol ou das outras estrelas), visto que os átomos emitem radiação sem coerência de fase (as fases dos campos são distribuídas uniformemente entre 0 e  $2\pi$ ).

A grande contribuição de Glauber foi ter criado, em trabalhos seminais publicados em 1963, uma teoria eminentemente quântica sobre a coerência, de múltiplas ordens, da radiação eletromagnética, que poderia ser comprovada experimentalmente através da detecção dos fótons.

Era necessário descrever corretamente o que se estava medindo quando uma válvula fotomultiplicadora

acusava uma contagem, identificada por um pulso ou um 'click' registrado quando um fóton é absorvido pelo detector, uma vez que a foto-detecção baseia-se no princípio do efeito foto-elétrico.

Em seu estudo sobre a coerência da radiação eletromagnética, Glauber

determinou a função correlação entre os feixes em sua versão quântica, verificando que para um estado de luz térmica esta era igual à função correlação clássica. Deste modo ele

comprovou inequivocamente que a mecânica quântica não se fazia necessária quando esse tipo de luz era usado nos experimentos. Mas para um estado "mais quântico" do que a luz do laser ocorre o fenômeno de antiaglomeração de fótons (*antibunching*), o que foi verificado experimentalmente em 1977, caracterizando assim, de forma conclusiva, a natureza quântica da radiação na óptica, pois a teoria eletromagnética clássica é incapaz de fornecer uma explicação desse fenômeno.

Glauber também inovou com uma versão atual para um estado quântico especial que fora introduzido por Schrödinger, chamado *estado coerente*, que se tornou emblemático não apenas na descrição de campos eletromagnéticos com coerência de fase, mas em outras áreas da física em que seja ne-

cessário representar sistemas com propriedades quânticas mas com aspectos mais próximos do mundo clássico. O estado coerente de Glauber é adequado para descrever os estados do campo eletromagnético, pois ele possui os atributos de amplitude e fase (como ocorre para os campos clássicos) sem deixar de representar um estado puramente quântico. É também um objeto do qual pode ser extraída informação sobre o limite clássico do campo de radiação, o que

é de grande utilidade nas aplicações de sinais ópticos em comunicação e medições de alta precisão. E do ponto de vista prático, as propriedades estatísticas de um estado da luz produzida por um gerador laser são adequadamente descritas por um estado coerente.

É importante destacar que campos eletromagnéticos de caráter quântico ou mesmo os estados coerentes não existem na natureza, mas eles podem ser produzidos artificialmente. Assim, com os seus trabalhos em óptica teórica de 1963, Glauber revolucionou o estudo da óptica, com uma descrição precisa das propriedades estatísticas quânticas da luz, o que permitiu dar uma existência mais palpável ao conceito de fóton. Isso levou à abertura de novas avenidas na Física, como a manipulação de feixes de luz laser, ressonadores eletromagnéticos, espelhos, prismas, divisores de feixes, detectores, contadores, etc. O seu grande feito levou a uma nova área de conhecimento com intensa e abrangente pesquisa, conhecida como óptica quântica.

O ano de 1963 pode ser considerado o *annus mirabilis* de Glauber, pois além de seus três trabalhos em óptica, ele também publicou outro importante estudo sobre a dinâmica irreversível de um sistema de *spins*. As quatro publicações receberam mais de 6.000 citações.

Um fato digno de registro foi o convite, aceito em 1944, para participar do Projeto Manhattan, quando contava com apenas 19 anos de idade. Depois de seu desligamento do projeto, em 1946, ele fez seu doutorado na Universidade de Princeton, realizando pesquisas em física de altas energias. Em 1953 foi contratado pela Universidade de Harvard, onde continua trabalhando como Professor Emérito, mesmo depois de ter atingido a idade para a aposentadoria.

### Leia mais sobre R.J. Glauber

<http://www.news.harvard.edu/gazette/daily/2005/10/04-nobel.html>  
<http://nobelprize.org/physics/laureates/2005/index.html>  
<http://www.physics.harvard.edu/people/facpages/glauber.html>



O prêmio Nobel de 2005 prestigia mais uma vez os desenvolvimentos científicos para se entender e utilizar com exatidão a luz. Mais precisamente deveríamos dizer um tipo muito especial de luz: o laser. Dentre os muitos feitos científicos do século XX, poucos tiveram a abrangência conquistada pelo laser. Magnífico instrumento, que tem seu funcionamento baseado nas leis fundamentais da interação da radiação luminosa com a matéria, o laser (*light amplified by stimulated emission radiation*) tem encontrado, desde sua descoberta, uma vasta aplicabilidade cobrindo desde as pesquisas científicas mais fundamentais até aplicações na área médica, passando evidentemente pela metrologia de precisão. Ao longo da sua história, muitos foram agraciados com o Nobel por entenderem cada vez melhor este instrumento, ou por dar a ele um uso especial. Este é o caso dos cientistas Theodor Hänsch, alemão de Munique, e de John L. Hall, americano de Denver. Ambos foram agraciados com o Nobel de Física de 2005 “pelos suas contribuições ao desenvolvimentos

**Na espectroscopia, o laser tornou possível entender detalhes extremamente sutis da natureza atômica e molecular da matéria**

da espectroscopia de precisão usando laser”. Normalmente o laser é um instrumento de altíssima precisão geométrica e definição em frequência, fato que cria inúmeras possibilidades para seu uso. Nossa sociedade não seria a mesma caso não tivéssemos o laser. Desde a impressão gráfica de excelente qualidade até a leitura de um disco CD com alta fidelidade, o laser percorre todas as áreas do conheci-

mento. Embora suas aplicações sejam importantes, o estudo deste instrumento por si só está longe de ser concluído e constitui uma das mais ativas áreas da investigação científica, em especial na chamada óptica quântica e na espectroscopia de átomos e sólidos. Na espectroscopia, que consiste no estudo da matéria através da luz, o laser simplesmente tornou possível entender detalhes extremamente sutis da natureza atômica e molecular. O laser nos permite hoje controlar o movimento de átomos, produzindo a chamada física dos átomos frios, onde tem sido possível a realização de experimentos inéditos que revelam a natureza quântica da matéria macroscópica. As técnicas de manipulação de átomos com luz fez surgir a chamada computação quântica. Para realizarmos estas fantásticas investigações utilizando o laser, é preciso que ele esteja estável, livre dos efeitos indesejáveis causados pelos meios externos. Apesar de apenas

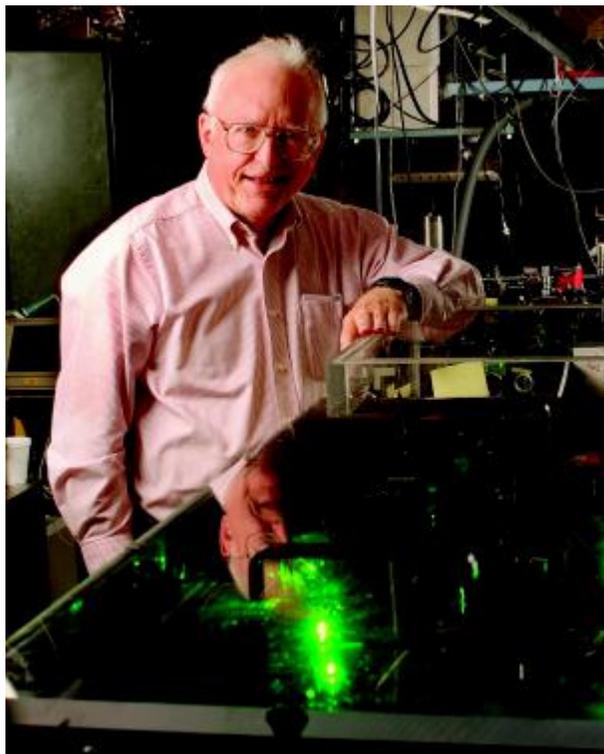
emitir luz em uma única frequência, praticamente qualquer efeito perturbador externo muda esta frequência e limita a precisão

com que podemos utilizar este instrumento na observação dos efeitos mais finos. Ao longo de décadas, pesquisadores como J. Hall e T. Hänsch desenvolveram técnicas que permitem controlar os agentes perturbadores externos para se obter a luz laser no seu limite de estabilidade. Dizemos limite porque, de acordo com os princípios da mecânica quântica, não é possível ultrapassar certos limites de

.....  
**Vanderlei Salvador Bagnato**  
Instituto de Física de S. Carlos  
USP  
.....

---

Os professores Hall e Hänsch dividiram a outra metade do Prêmio Nobel de Física de 2005 pelos seus estudos em espectroscopia de precisão, alargando as possibilidades de uso do laser em grande parte do espectro.



John L. Hall em seu laboratório na Universidade do Colorado (UC) (foto: Larry Harwood, UC).

precisão e estabilidade. Além de contribuir para tornar os lasers mais estáveis, eles também desenvolveram técnicas utilizando estes lasers para que possamos ver os detalhes mais finos da estrutura dos átomos e moléculas. É importante dizer que a cada vez que o homem foi capaz de superar seus limites técnicos na investigação da natureza atômica, grandes avanços técnicos e científicos formam alcançados.

John Hall, nascido em Denver em 1934, obteve seu doutoramento em Física em 1961 pelo Carnegie Institute of Technology em Pittsburgh, no estado da Pensilvânia. Trabalhou grande parte de sua vida no National Institute of Standard and Technology em Denver e também como professor da Universidade do Colorado. Hall dedicou sua vida ao desenvolvimento de lasers de ultra-alta precisão e estabilidade, fato que proporcionou gerar ao seu redor vários grupos de pesquisa que causaram uma verdadeira revolução na espectroscopia de átomos e moléculas. Em especial, as técnicas de ultra-alta precisão para espectroscopia a laser desenvolvidas por J. Hall permitiram-lhe a realização de inú-

meras medidas que promoveram avanços na área de metrologia e também nas medidas de constantes fundamentais da natureza. Dentre estas várias medidas de precisão está aquela que permite medir o metro com luz, ou mais precisamente, definir o metro a partir da luz. O padrão “metro” deixou, há várias décadas, de ser definido como a barra de platina mantida em condições especiais em Paris. Esta forma de definição do metro era de difícil reprodução e criava sérios problemas para comparações. Utilizando espectroscopia atômica de precisão, o metro passou a ser definido como sendo um determinado número de comprimen-

tos de onda da luz de determinada linha espectral do kriptônio. Com esta definição, a precisão da definição do metro passou a depender da precisão de nossa capacidade em medir o comprimento de onda da luz que é absorvido por vapor de kriptônio em determinadas condições, e, portanto, passou a ser um problema da espectroscopia de alta precisão. Outro exemplo importan-

te vem da definição do “segundo”, que também deixou de ser baseada na astronomia e passou a ser determinada como o inverso da frequência da radiação eletromagnética necessária para causar transição atômica no átomo de césio. As definições atômicas das unidades básicas de medida de comprimento e tempo foram alvo principal do avanço nas técnicas de estabilização de lasers. Definidas as unidades de comprimento e tempo a partir de medidas espectroscópicas ultra precisas, foi possível

definir a velocidade da luz como valor absoluto através do produto do comprimento de onda pela frequência. Hoje a velocidade da luz no vácuo é definida a partir de outras medidas espectroscópicas precisas e tem o valor de 299.792.458 m/s. Como consequência disto, o metro passou a ser definido como sendo a distância percorrida pela luz em um intervalo de tempo de  $1/299.792.458$  de segundo. J. Hall foi figura marcante em todo este cenário de redefinições das unidades, trazendo para a Ciência as comprovações necessárias para a credibilidade das novas definições. Aliadas à metrologia, as técnicas desenvolvidas por J. Hall foram incorporadas a muitos instrumentos científicos, hoje empregados em laboratórios do mundo todo, permitindo grande avanço das ciências físicas e da engenharia de um modo geral.

Semelhantemente, Theodor Hänsch dedicou sua vida aos desafios de medidas precisas, principalmente envolvendo átomos de hidrogênio. Nascido em 1941 na cidade de Heidelberg, na Alemanha, ele recebeu seu doutorado na mesma cidade em 1969. Passou por várias instituições de renome mundial, tendo sido, inclusive, diretor do prestigioso Max-Planck Institute for Quantenoptik, em Garching, e professor de Física da Ludwig-Maximilians Universität em Munique. É praticamente impossível

**Utilizando a espectroscopia atômica de precisão, o metro foi definido como sendo um determinado número de comprimentos de onda da luz de determinada linha espectral do kriptônio, evoluindo depois para a distância percorrida pela luz em um intervalo de tempo de  $1/299.792.458$  de segundo**

falar em medidas de precisão sem lembrar o nome de T. Hänsch. Estão a ele associados os valores mais precisos das medidas dos níveis de energia do átomo de hidrogênio, que permitiram saber com precisão antes inimaginável o valor da constante fundamental de

Rydberg, cujo valor conjuga a carga do elétron, da massa do elétron e da constante de Planck. A conjugação destas grandezas aparece com frequência na maioria dos fenômenos quânticos, e portanto seu conhecimento é de extremo interesse e



Theodor Hänsch na Ludwig-Maximilians Universität em Munique.

relevância para a Ciência, pois determinam os valores de tudo que se passa em nosso mundo, incluindo mesmo detalhes das origens do próprio universo. As contribuições de Hänsch à espectroscopia são inúmeras e foram determinantes em outras áreas como as técnicas para resfriar átomos. Em um famoso trabalho publicado

**Apesar da vastidão dos trabalhos de Hänsch, um merece destaque especial por ter contribuído de forma marcante para o avanço da metrologia de tempo de frequência: o chamado “pente de frequência”**

por Hänsch e A. Schawlow (ganhador do Nobel de Física em 1981), lançaram-se as bases das técnicas do resfriamento de átomos com o objetivo de minimizar as indesejáveis limitações introduzidas pelo efeito Doppler durante a realização de espectroscopia de átomos e moléculas. Apesar da vastidão dos trabalhos de Hänsch, um merece destaque especial por ter contribuído de forma marcante para o avanço da metrologia de tempo de frequência: o chamado “pente de frequência”. Até pouco tempo atrás, tínhamos a capacidade de medir frequências da radiação eletromagnética com altíssima precisão apenas na região de micro-ondas e radiofrequências. Quando tentávamos fazer o mesmo com as frequências mais altas da luz, as quais correspondem ao infra-vermelho, visível e mesmo ultravioleta, a situação era muito diferente. Para poder transferir a precisão de medidas das baixas para as altas frequências, procurava-se criar as chamadas cadeias de multiplicação, onde de um relógio atômico de césio, utiliza-se muitos lasers e diodos especiais até se poder chegar na faixa das altas fre-

quências. Este sempre foi um trabalho muito tedioso e que nunca atingiu as qualidades finais desejadas. Por conta destas dificuldades, a ultra-alta precisão das altas frequências sempre ficou atrás das micro-ondas. Recentemente, no entanto, as contribuições de Hänsch mudaram este panorama. Começando com pulsos de luz muito estreitos (da ordem de  $10^{-15}$  de segundo) o pesquisador alemão, juntamente com seus colaboradores, foram capazes de produzir luz composta por uma seqüência de frequências indo desde os valores mais baixos até os valores mais altos, sendo que a distância entre os valores sucessivos desta seqüência de frequências é muito

bem fixo. A esta seqüência de frequências, deu-se o nome de “pente de frequências”. O mais interessante da produção destes pentes de frequências é a simplicidade com que podem ser

produzidas, utilizando-se apenas um laser de pulsos curtos e uma fibra óptica especial que tem propriedades ópticas que permitem a geração desta enorme variedade de frequências através de fenômenos não-lineares. Com o desenvolvimento do “pente de frequências” podemos agora levar a estabilidade e precisão para qualquer parte do espectro eletromagnético criando uma vastidão de novas aplicações e possibilidades incríveis de melhoria das aplicações já existentes, como o sistema GPS utilizado na navegação. Esta capacidade de levar precisão para todo espectro eletromagnético deverá promover um avanço incrível de nosso entendimento da natureza atômica, comparando as características espectrais de matéria e da anti-matéria, bem como

medir com maior precisão as constantes fundamentais da natureza e avaliar se elas vêm mudando com o tempo ou não. Não apenas Hänsch, mas também Hall tiveram contribuições significativas na viabilização do pente de frequência que hoje já se encontra comercialmente disponível e galopando rápido como aplicativo em vários setores.

A capacidade do homem em medir com maior precisão os fenômenos da natureza sempre traz surpresas e maior entendimento do universo no qual estamos embebidos. É na melhoria de nossa capacidade de ver as coisas com maior precisão que reside nossas chances de progredir o conhecimento científico, talvez o maior tesouro da humanidade. Mais uma vez o Comitê Nobel reconhece o esforço daqueles que dedicaram sua vida a este objetivo.

Em 2004 tivemos o prazer de receber aqui no Brasil o prof. Hänsch, que durante sua visita a São Carlos, nos laboratórios de física atômica, manifestou-se bastante impressionado pela qualidade da Física que se realiza no Brasil de um modo geral.



Prof. T. Hänsch durante sua visita ao Brasil em 2004, em uma recepção no IFSC-USP.



# Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

## Gleb Wataghin E a Física na USP

**H**á pouco tempo, realizou-se uma jornada de comemorações dos trinta e cinco anos de funcionamento do Instituto de Física da USP no seu atual formato organizacional. A Física em São Paulo, no entanto, é bem mais antiga. Como atividade profissional, os trabalhos em física moderna no Brasil iniciaram-se com Gleb Wataghin, recrutado em 1934 na Europa entre os professores estrangeiros que formaram o quadro docente da nova Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo.

Essa história é conhecida. Teodoro Ramos, líder da missão paulista na Europa, era intelectual de finíssima formação. Tinha um texto publicado na França sobre cálculo vetorial, além de artigos sobre a “teoria dos quanta”, no Boletim do Instituto de Engenharia, publicados em 1931 e 1932. Conta-se que na área da Física o objetivo seria recrutar Enrico Fermi, personalidade maior da física européia, que ainda estava em Roma. Fermi indicou o jovem Gleb Wataghin, no início da carreira científica em Turim. Wataghin teria hesitado, consultou vários colegas, mas

finalmente foi seduzido pelo desafio, e certamente pelas ofertas promissoras de Teodoro Ramos, que incluíam bom salário e viagens anuais à Europa. O compromisso foi selado “num célebre restaurante de Roma, na via la Scroffa, onde o macarrão se comia com colher e garfo de ouro puro”.

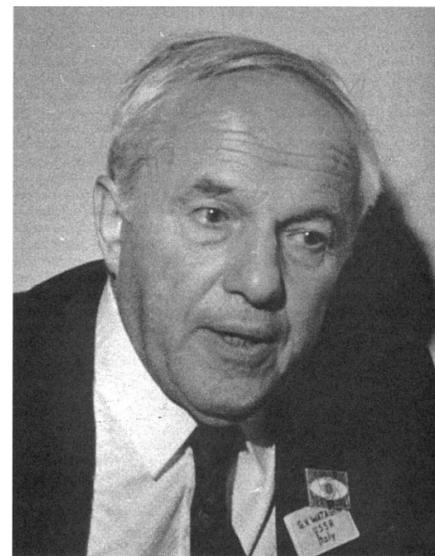
Há uns vinte anos, durante uma das minhas passagens por Pittsburgh, assisti a um colóquio de Freeman J. Dyson, com referências a Wataghin

**John von Neumann, amigo de Wataghin, teria tentado convencê-lo de que seria um absurdo abandonar a Europa a fim de recomeçar a vida no Brasil, país longínquo, onde absolutamente não se fazia nenhum trabalho em Física. Mas uma vez aqui, Wataghin conseguiu rapidamente formar um grupo de nível internacional que logo passou a publicar no The Physical Review**

que ainda me impressionam. Dyson é um físico teórico eminente, de origem inglesa, um dos arquitetos da eletrodinâmica quântica, professor no Instituto de Estudos Avançados de Princeton, onde trabalharam Albert Einstein e John von Neumann. Embora na época eu não

soubesse, Dyson também era autor de rara elegância, refletindo sobre o desenvolvimento da Ciência, sobre as contribuições dos seus colegas e contemporâneos. Alguns livros de Dyson, que eu recomendo fortemente, podem ser encontrados em português: *Infinito em Todas as Direções*, reeditado há pouco tempo pela Companhia das Letras e *De Eros a Gaia*, que valeria nova edição.

Naquele colóquio em Pittsburgh, Dyson argumentava que novas idéias, ou até mesmo trabalhos seminiais, surgem muitas vezes em condições particularmente difíceis ou inesperadas. Contou a história de W. Lawrence Bragg, filho de W. Henry Bragg, que assumiu a direção do Laboratório Cavendish, em Cambridge, após a morte de Lord Rutherford, um pouco antes da Segunda Guerra. O Laboratório, famoso na época de Rutherford, estava em profunda decadência; o pessoal mais ativo e competente já tinha conseguido partir para outras posições em universidades britânicas. Bragg percebeu que seria impossível reprisar as glórias passadas da física nuclear e decidiu dar ênfase a outras



Gleb Wataghin. 3/11/1899-10/10/1986.



Antonio Rostagni, Gleb Wataghin, Enrico Persico, Enrico Fermi e Matilde Rostagni. Foto tirada em Gressoney la Trinitè, em 1932.

linhas (mais novas, improváveis) de trabalho científico. Foi sob a direção de Bragg que surgiram a biofísica molecular de Perutz (resultando em Crick e Watson) e a radioastronomia de Ryle, com toda uma geração premiada pelo Nobel. Mais tarde encontrei esta história, em detalhe, num dos capítulos de *De Eros a Gaia*.

Outro exemplo citado por Dyson que ainda me impressiona foi “a aventura brasileira” de Gleb Wataghin. John von Neumann, que tinha sido colega de Dyson em Princeton e era amigo de Wataghin, teria tentado convencê-lo de que seria um absurdo abandonar a Europa

a fim de recomeçar a vida no Brasil, país longínquo, onde absolutamente não se fazia nenhum trabalho em Física. Para ilustrar as suas teses sobre os caminhos da ciência, Dyson aponta o enorme sucesso da decisão de Wataghin pelo Brasil; em condições improváveis, Wataghin conseguiu rapidamente formar um grupo de nível internacional. Dyson observa para aquele público norte-americano que

**Uma idéia de Wataghin sobre a formação dos elementos químicos dentro das estrelas enfrentou a concorrência de Alpher, Bethe e Gamow, que propuseram um mecanismo diferente e que acabou se tornando muito mais conhecido. Contudo, alguns anos depois, se percebeu que o mecanismo alternativo de Wataghin é que estava correto...**

alguns anos depois de sua chegada em São Paulo começavam a aparecer em *The Physical Review* os primeiros artigos brasileiros de Wataghin, escritos em colaboração com jovens brilhantes, certamente formados no ambiente que ele havia criado. Os artigos dessa época, a partir de 1935, que passaram a incluir autores como

Damy, Pompéia e Lattes, podem ser obtidos facilmente na rede, numa consulta aos magníficos arquivos online da American Physical Society, que já se estendem até o século XIX!

Nos livros e artigos de Dyson, eu não consegui localizar o registro desse relato sobre a

“aventura brasileira de Gleb Wataghin”. Mas encontrei diversas referências a Wataghin, às vezes em conexão com von Neumann. Depois da Segunda Guerra, Wataghin teria encontrado von Neumann e perguntado “você ainda está trabalhando nas bombas?” Von Neuman redarguiu, “não, agora trabalho em assuntos muito mais importantes, trabalho em computadores!” Dyson lamenta

que, após o falecimento prematuro de von Neumann, Princeton tenha decidido interromper o apoio ao grupo de pesquisa em computadores. As pesquisas na área foram retomadas pela IBM, mas o ambiente em Princeton teria sido muito mais aberto e criativo.

Em um de seus artigos, Dyson refere-se a um trabalho de Wataghin sobre a formação dos elementos químicos dentro das estrelas. Infelizmente, no mesmo volume de *The Physical Review*, Alpher, Bethe e Gamow propuseram mecanismo diferente, que acabou se tornando muito mais conhecido. George Gamow, espírito jocoso, esteve no Brasil a convite de Wataghin; em trabalho com Mario Schönberg, propôs o famoso “processo Urca”, em alusão ao Cassino da Urca, pois tanto os neutrinos estelares quanto as fortunas trocam facilmente de mão. No artigo com Alpher, Gamow teve a idéia de convidar Hans Bethe, que prontamente aceitou, para também assinar como co-autor, a fim de completar o início do alfabeto grego! Apesar de toda a publicidade em torno do artigo de Alpher-Bethe-Gamow, alguns anos depois se percebeu que o mecanismo alternativo de Wataghin é que estava correto!

Enfim, a física moderna em São Paulo teve início glorioso, junto à própria fundação da Universidade. Há 35 anos houve apenas o desmembramento da antiga Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, em uma época difícil, em pleno recrudescimento do regime militar, depois do AI-5 e das cassações, que atingiram Mario Schönberg e Jayme Tiomno, professores ilustres do velho Departamento de Física, além do próprio líder das reformas na USP, Magnífico Reitor Helio Lourenço de Oliveira. Há 35 anos eu era muito mais jovem e perdi vários colegas e companheiros. Não há quase nada a comemorar. Vamos então celebrar as nossas origens, que remontam a Gleb Wataghin e aos setenta anos da USP!

Silvio R.A. Salinas  
Instituto de Física/USP



.....  
**Cássio Leite Vieira**  
Jornalista  
.....

**N**o outono de 1946, aos 22 anos de idade, o físico brasileiro Cesare Mansueto Giulio Lattes (ou apenas César Lattes, como era mais conhecido), praticamente recém-formado, chegou à Inglaterra para uma temporada de dois anos no Laboratório H.H. Wills, que ocupava o quarto andar do Royal Fort, um prédio monumental da Universidade de Bristol, cidade na costa oeste do país.

Lá, uma equipe liderada pelo físico Cecil Powell empregava as chamadas emulsões nucleares para o estudo da física nuclear e dos raios cósmicos.

Neste último caso, a idéia era tentar capturar, nessas chapas fotográficas especiais, fragmentos ainda desconhecidos da matéria. Eles se-

*Não mudaria nada [em minha carreira]. Foi empurrado pela história e fiz o possível*  
**César Lattes, 1997**

riam produzidos, a dezenas de quilômetros de altitude, pelo choque de partículas ultra-energéticas, os chamados raios cósmicos, contra núcleos atômicos que formam a atmosfera.

Essas colisões, que podem atingir energias milhões de vezes superiores àquelas produzidas nos mais modernos aceleradores de partículas, causam um tipo de cascata, o chamado chuva de partículas, que pode varrer quilômetros quadrados do solo, contendo bilhões de partículas, principalmente elétrons, múons e neutrinos.

Lattes era jovem, como muitos dos físicos que formavam a equipe de Powell. Porém ele tinha, pelos menos, dois diferenciais a seu favor:

i) Boa formação teórica, principalmente devido a seu contato com Gleb Wataghin e Mário Schenberg na gra-

duação e durante um curto período de pesquisa depois de formado (corroborando essa afirmação o depoimento de um dos integrantes da equipe de Powell, que, mais tarde, recordou que seu primeiro contato com alguns conceitos da mecânica quântica se deu através de conversas com Lattes e Ugo Camerini, outro brasileiro que, pouco depois, se juntaria à equipe do H.H. Wills);

ii) Treinamento, na Universidade de São Paulo (onde se formou em 1943, aos 19 anos), na análise de chapas fotográficas aplicadas ao estudo de raios X, dado pelo físico italiano Giuseppe Occhialini, que passou uma temporada no Brasil e, logo após o fim da Segunda

Guerra, foi trabalhar com Powell, em Bristol. Lattes contou que foi o único aluno desse curso.

### De Teórico a Experimental

A simpatia de Lattes pela carreira de teórico foi bastante desmotivada depois de trabalhar com Wataghin e Schenberg em problemas relacionados à abundância de elementos no universo (esses trabalhos foram publicados em 1945, na *Physics Reports USP*, e no ano seguinte, na *Physical Review*). Segundo Lattes, cálculos envolvendo uma lagrangiana “com 99 termos” ocupavam páginas e páginas. Esse fato fez com que Lattes procurasse Occhialini com o desejo de se tornar um experimental (alguns amigos apontam ainda a influência que o ex-professor, tido como um experimental brilhante, teria exercido sobre Lat-

No início de 1948, ao chegar a Berkeley (Estados Unidos), César Lattes era bem mais do que um cientista que iniciaria uma colaboração com um colega. Ele representava a transferência de uma técnica que havia sido aprimorada nos últimos dez anos por Cecil Powell e seu grupo, na Universidade de Bristol (Inglaterra), e que havia sido desenvolvida desde o início da década de 1930, quando as emulsões nucleares passaram a ser aplicadas ao estudo de raios cósmicos. A detecção de mésons pi no acelerador de 184 polegadas da Universidade da Califórnia representou o ponto alto da carreira daquele então jovem físico brasileiro e o transformou em nosso herói da Era Nuclear. E os desdobramentos dessa detecção foram de extrema importância não só para a física, mas também para o estabelecimento da estrutura político-administrativa da Ciência no Brasil.

Uma versão resumida deste texto foi publicada na Folha de S. Paulo em 9/3/05

tes).

Ainda no Brasil, Lattes, Andréa Wataghin (filho de Wataghin) e Camerini construíram e trabalharam com uma câmara de nuvens (ou câmara de Wilson). Nessa época, Lattes mandou para Occhialini, que já estava em Bristol, uma fotografia feita a partir do trabalho com a câmara. Recebeu de volta fotografias mostrando trajetórias de prótons e partículas alfa obtidas com uma nova emulsão, mais concentrada, fabricada pela Ilford, empresa com sede em Essex (nessas emulsões, a relação entre a con-

**Ao revelar chapas especiais encomendadas por Lattes, Occhialini notou evidências de mésons sendo capturados por núcleos e os desintegrando. Escreveu um artigo assinado apenas por ele e Powell, o que gerou protestos de Lattes**

centração de haletos e de gelatina era quatro vezes maior que nas chapas fotográficas convencionais).

Lattes ficou impressionado com o que viu. Os resultados eram muitos superiores aos obtidos pela câmara de nuvens. Pediu então ao ex-professor que arranjasse um modo de ele, Lattes, passar um tempo em Bristol. Foi obtida uma bolsa (15 libras por mês) da Wills, fabricante de cigarros e empresa que financiou o Royal Fort, que, por isso, ficou conhecido como 'Torre do Cigarro'. A ida de Lattes parece também ter sido impulsionada pela falta de físicos experimentais nas universidades menores na Inglaterra do pós-guerra. As passagens foram pagas pela Fundação Getúlio Vargas, graças ao prestígio e à influência do matemático brasileiro Leopoldo Nachbin.

Lattes desembarcou em Liverpool, depois de 40 dias de viagem a bordo do Santo Rosário (segundo ele, o primeiro navio cargueiro que partiu, depois da Segunda Guerra, carregando passageiros do Brasil). Depois de uma breve passagem por Londres, chegou à estação ferroviária de Bristol em um final de semana. Dois dias depois, juntou-se a Powell e Occhialini.

### Emulsões com Bórax

A primeira incumbência de Lattes em Bristol foi medir o nível de decaimento de partículas alfa do samário com a ajuda das novas emulsões, mais

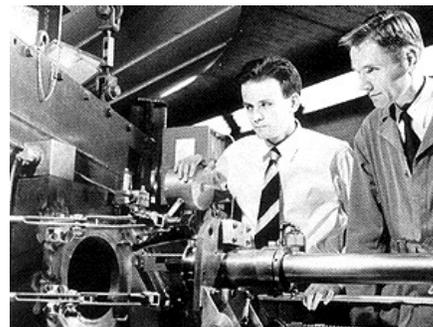
concentradas, que passaram a ser fabricadas a partir de 1946 e classificadas segundo o tamanho dos grãos (A, B, C e D), sendo que cada uma delas estava disponível em três sensibilidades: 1, 2 e 3 (vale adiantar que as do tipo C2 se tornariam as 'grandes vedetes'). Em seguida, sua nova missão foi calibrar essas emulsões, ou

seja, obter a chamada relação alcance-energia, bombardeando-as com um feixe de 1 MeV de deutério produzido pelo acelerador Cockroft-Walton, em Cambridge. Ele, juntamente com Peter Fowler (neto do

neozelandês Ernest Rutherford e ainda estudante de graduação) e Peter Cuet, obtiveram a relação alcance-energia nas novas chapas para prótons, partículas alfa e núcleos de deutério (dêuterons) até 10 MeV. Esses resultados [1] foram importantes para estabelecer parâmetros relacionados à detecção individual de partículas carregadas em emulsões nucleares.

Entre as chapas calibradas, estavam algumas nas quais, a pedido de Lattes para técnicos da Ilford, foi acrescentado bórax (tetraborato de sódio) na composição, uma idéia que se mostraria fundamental para os desdobramentos que levariam à detecção do méson pi. No acelerador, o boro da emulsão era bombardeado com um núcleo de deutério, dando carbono e nêutron ( $B^{11} + H^2 \rightarrow C^{12} + n$ ). O objetivo inicial de Lattes (e isso é importante ressaltar) era medir a energia e o momento de nêutrons cósmicos a partir da reação na qual um núcleo de boro 10 gera duas partículas alfa e um trítio ( $n + B^{10} \rightarrow He^4 + He^4 + H^3$ ).

Pediu a Occhialini, que estava saindo de férias no final de 1946, para esquiar nos Pirineus franceses, que expusesse as emulsões (do tipo B1) carregadas com bórax no observatório astronômico no Pic-du-Midi, a 2,8 mil metros de altitude. Pediu também que se expusessem chapas normais (sem bórax). Expor chapas em grandes picos já era uma tradição no estudo de raios cósmicos, pois nas al-



Lattes e Eugene Gardner ao lado do ciclotron de 184 polegadas em Berkeley (1947).

turas é maior a probabilidade de se capturar eventos relacionados com as colisões. Porém Gariboldi, estudioso da história desse período, afirma que isso foi uma atitude deliberada de Lattes, juntamente com Occhialini, para diminuir o *fading*, ou seja, esmaecimento da imagem das trajetórias nas emulsões, o que era então um problema com a técnica de emulsões. Segundo o autor, outra opção (não adotada) seria diminuir o tempo de exposição.

Na volta, cerca de um mês e meio depois, ao revelar as emulsões com e sem bórax, Occhialini notou que nas primeiras estavam evidências de mésons sendo capturados por núcleos e os desintegrando. Virou a noite, escreveu um artigo (segundo Lattes, sem conhecimento de Powell) e o enviou para publicação. Detalhe: esse primeiro artigo [2], com os resultados das chapas carregadas com bórax, foi assinado apenas por Occhialini e Powell, nesta ordem. Lattes protestou junto a seu ex-professor.

A partir daí, a ênfase do grupo de Bristol se voltou totalmente para os raios cósmicos, ou seja, para a análise dessas emulsões. Com isso, a física nuclear convencional que Powell vinha praticando (espalhamento nêutron-próton a 10 MeV) ficou de



Lattes com Occhialini (direita na foto) e Costa Ribeiro (1952).

lado. Pouco depois, Marietta Kurz, uma das várias microscopistas da equipe (o chamado 'Belo Coro de Powell'), identificou um méson primário (píon) que decaía em um secundário (múon). Mas este último não parava na emulsão. Outra microscopista, Irene Roberts, achou posteriormente outro decaimento desse tipo, mas, dessa vez, com um secundário parando dentro da emulsão e com uma trajetória de 600 microns - no primeiro caso, apesar de o múon não parar na

**Lattes percebeu o alcance das novas emulsões e sua exposição em grandes altitudes, e pediu a Powell que financiasse sua ida a um lugar de altitude para fazer novas exposições. Ele verificou que havia, na Bolívia, um monte com cerca de 5,3 mil metros de altitude: o monte Chacaltaya**

chapa, a equipe supôs que seu alcance seria algo em torno de 600 microns.

Esses dois eventos foram os primeiros exemplos do decaimento de um píon (no caso, positivo) em um múon (ou, na denominação da época, de um méson de Yukawa em um méson de Anderson). O trabalho foi assinado nesta ordem: Lattes, (Hugh) Muirhead, Occhialini e Powell e saiu na edição de 24 de maio de 1947 da Nature [3].

Vale ressaltar que, ainda em janeiro daquele ano, Donald Perkins, do Imperial College, em Londres, havia publicado o primeiro exemplo da captura de um píon negativo por um núcleo. Seis semanas depois, o artigo de Occhialini e Powell apresentaria seis outros exemplos, graças às chapas carregadas com bórax.

## Ida a Chacaltaya

Lattes percebeu o alcance das novas emulsões e a exposição delas em grandes altitudes, e pediu a Powell que financiasse sua ida a um lugar de altitude para fazer novas exposições. Foi à biblioteca do Departamento de Geografia da Universidade de Bristol e verificou que havia, na Bolívia, um monte com cerca de 5,3 mil metros de altitude, o monte Chacaltaya, onde poderia chegar depois de uma viagem de 20 minutos de carro a partir de La Paz.

Numa cerimônia simples, em que estavam presentes A.M. Tyndall (diretor do H.H. Wills e neto do descobridor

do efeito de mesmo nome), Powell e Occhialini, Lattes recebeu "um monte de notas de pounds" e assinou um recibo em que estava escrito: "Pago a César Lattes para sua viagem à Bolívia". Tyndall recomendou que Lattes viajasse em um avião da British Airways.

Mas um colega sugeriu que a viagem fosse feita pela Panair, companhia brasileira, "pois os aviões da British eram ex-bombardeiros da Segunda Guerra, enquanto os da companhia brasileira eram novinhos em folha, as aeromoças bonitas e o filé servido na refeição, suculento". Lattes se convenceu. Sorte dele, o próprio Lattes costumava lembrar, pois o avião da British acabou caindo em Dacar, no Senegal. Não houve sobreviventes.

## Méson ou Píon?

Lattes voltou ao Rio de Janeiro com as chapas já expostas (uma delas foi revelada ainda na Bolívia, mas a qualidade da água era inadequada; mesmo assim, pôde-se ver um decaimento píon-múon). Revelou outras delas no Brasil e mostrou (com a ajuda de um microscópio do físico Joaquim Costa Ribeiro, do Departamento de Física da Faculdade Nacional de Filosofia) os resultados para o físico austríaco Guido Beck e o brasileiro José Leite Lopes. Lá estavam mais e melhores evidências dos píons.

Lattes voltou à Inglaterra com suas chapas de Chacaltaya, e lá elas foram

devidamente reveladas e escaneadas pelas microscopistas. As emulsões mostraram 31 trajetórias com decaimentos de píons em múons. A Lattes foi dada a (árdua) tarefa de calcular, com base na contagem de grãos, a relação entre as massas dessas duas partículas, um trabalho que exigia a paciência de um monge tibetano, pois

**Powell concordou em financiar Lattes, e Tyndall recomendou sua viagem pela British Airways. Desobediente, Lattes tomou um avião brasileiro. O avião da British Airways caiu em Dacar... sem sobreviventes...**

envolvia contar milhares de 'grãozinhos' das trajetórias nas emulsões reveladas. Os resultados foram publicados em artigos assinados por Lattes, Occhialini e Powell, em Nature [4] e no ano seguinte em Proceedings of the Physical Society of London [5].

Estes artigos, além dos primeiros daquele ano, tiveram um grande impacto internacional. O que passou a ser conhecido como méson pi (o nome foi dado por Powell) havia sido previsto ainda em 1935 pelo físico japonês Hideki Yukawa. Descobri-lo implicava explicar um problema relativamente simples - visto através da perspectiva de hoje -, mas até então um mistério para a Física: por que o núcleo dos átomos é estável, coeso - em outras palavras, explicar por que os prótons, que têm carga elétrica positiva, não se repelem, explodindo o núcleo.

Os trabalhos da equipe de Bristol em 1947 também serviram para reforçar a idéia de que havia dois mésons, o de Yukawa e o de Anderson (na verdade, de Anderson e Neddermeyer e de Street e Stevenson, dois grupos independentes), uma idéia que foi lançada, ainda em 1943, pelos físicos japoneses Yasutaka Tanikawa, Shoichi Sakata e Takeshi Inoue, bem como, quatro anos depois, por Hans Bethe e Robert Marshak.

Logo depois da proposição do méson por Yukawa - o nome méson (médio, em grego) tem a ver com o fato de ele ter calculado que a massa dessa partícula seria intermediária entre a do próton e a do elétron -, o físico norte-americano Carl Anderson detectou uma partícula, com a ajuda de uma câmara de Wilson, com caracte-

terísticas semelhantes à daquela proposta por Yukawa. A primeira reação da comunidade foi associar essas duas partículas (até mesmo Yukawa, cuja teoria foi disseminada no Ocidente por Robert Oppenheimer, fez essa associação). Porém, ainda durante a Segunda Guerra, os italianos Marcelo Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni



As instalações em Chacaltaya.

mostraram que o méson de Anderson não podia ser o responsável pela força forte, pois ele não interagiu fortemente com o núcleo (esse trabalho foi feito em um porão, quando os autores se escondiam dos nazistas, e publicado apenas em 1947).

### Portador de uma Técnica

Com a repercussão dos primeiros artigos daquele ano, Lattes foi convidado para fazer palestras na Suécia e na Dinamarca. Assistentes de Niels Bohr haviam visitado Bristol para tomar ciência do que estava acontecendo por lá (segundo Lattes, eles devem ter percebido que o cálculo da relação da massa do pión e do múon estava a cargo dele). Na Dinamarca, Bohr convidou o brasileiro para uma conversa em sua residência. Segundo Lattes, Bohr aconselhou-o a ir para os Estados Unidos, pois “lá as coisas estavam quentes”.

No início de 1948, Lattes chegou em Berkeley, Califórnia, onde, desde primeiro de novembro de 1946, funcionava o síncrotron de 182 polegadas, financiado com US\$ 1,5 milhão pela Fundação Rockefeller. O principal objetivo dessa máquina era a produção artificial de pions. Porém, até então, essas partículas não haviam sido detectadas, para a profunda insatisfação do líder da equipe, o físico norte-americano Eugene Gardner.

Meses antes da chegada de Lattes a Berkeley, Gardner já havia trocado uma série de correspondências com a Eastman (Kodak), também fabricante de emulsões nucleares. Nas cartas,

Gardner reclamava (às vezes, duramente) do caráter sigiloso que a empresa mantinha sobre a composição química de suas emulsões e que, com elas, não conseguia reproduzir os resultados da equipe de Bristol. Na Inglaterra, a situação era um pouco diferente. Um painel para o desenvolvimento das emulsões nucleares foi idealizado por Patrick Blackett e, depois de

constituído, chefiado por Joseph Rotblat. Esse comitê era basicamente integrado por três frentes: i) o estabelecimento nuclear inglês, responsável pelo desenvolvimento do projeto Tube Alloy, que pesquisava o uso de energia atômica para o desenvolvimento de uma bomba; ii) a academia, com a presença de Powell, por exemplo; iii) a indústria, ou seja, a Ilford (mais tarde, a Kodak inglesa passou a integrá-lo também). A presença da Ilford no painel garantia que a composição química das emulsões (apesar de serem um segredo industrial) fosse acessível para os pesquisadores, que, por vezes, solicitavam modificações nelas, como foi o caso da adição de bórax pedida por Lattes.

A chegada de Lattes a Berkeley, portando caixas das novas emulsões Ilford, do tipo C2, representou muito mais do que a simples ida de um pesquisador para colaborar com um colega. Lattes, naquele momento, era o portador de uma técnica desenvolvida pelo grupo de Bristol que envolvia o aprimoramento de emulsões, de métodos de revelação, de técnicas ópticas de observação e de contagem de grãos para a determinação da massa das partículas. Não seria muito arriscado dizer que a técnica das emulsões nucleares estava próxima de seu ponto mais alto, atingido em 1949 com as chapas NT4, da Kodak, e G5, da Ilford, que eram sensíveis a qualquer partícula com carga (foi com elas que, em 1949, foi detectado o decaimento pión-múon-elétron em Bristol). Era o

cume de uma técnica que começou no início do século XX com o emprego de emulsões para estudos da radioatividade (vale lembrar que as fotografias tiveram um papel fundamental na descoberta da radioatividade e dos raios X no final do século XIX).

Ainda em 1910, o físico japonês S. Kinoshita empregou chapas fotográficas – por sinal, foi ele quem iniciou a técnica de expô-las empilhadas, como depois foram empregadas no estudo de raios cósmicos – para medir o fluxo de partículas alfa emitido por elementos radioativos. Mas foi com Marietta Blau e Hertha Wambacher, no início da década de 1930, que os primeiros prótons rápidos foram capturados em emulsões. Assim é atribuída a essa dupla insólita – Blau, judia, e Wambacher, ‘sócia de carteirinha’ do Partido Nazista – o pioneirismo no emprego de emulsões para o estudo de raios cósmicos. Ainda em 1938, Walter Heitler chamou a atenção de Powell para os resultados dessa dupla. A partir daí, principalmente entre aquele ano e 1943, depois de analisar experimentos em que as duas técnicas eram empregadas, Powell usou emulsões e tratou de aperfeiçoar a técnica, até perceber que ela era, em muitos casos, superior à câmara de Wilson. Ironicamente, Wilson fora orientador de doutorado de Powell.

A técnica de emulsões teve um pioneiro na Rússia, A. Zhdanov, e



Cesar Lattes em Chacaltaya.

também se disseminou, na mesma época de Powell, nos Estados Unidos, principalmente através de Wilkins, Rumbaugh e Locher.

## A Detecção Artificial

Lattes apostou que, com alguma sorte, píons poderiam ser produzidos no acelerador de Berkeley, cujo feixe de partículas alfa chegava a 380 MeV, ou seja, 95 MeV por núcleon. Isso era insuficiente para a produção de píons, mas o brasileiro apostou que, com a energia interna do núcleo (a chamada energia de Fermi), seria possível, com alguma sorte,

produzir píons. E ele estava certo.

Nos meses anteriores à chegada de Lattes, várias cartas haviam sido trocadas entre a equipe de Gardner e Bristol, na esperança de que se conseguisse a reprodução dos resultados obtidos pelos colegas europeus. Receitas, as mais diversas possíveis, alteravam o tipo de revelador, o tempo de revelação, produtos químicos, entre outros procedimentos.

Lattes, em seus relatos, sempre ressaltou que “não descobriu” os mésons pi em Berkeley, mas que apenas os detectou, pois eles já vinham sendo produzidos pelo acelerador desde 1947. As evidências surgiram uma semana depois de sua chegada. Uma das primeiras iniciativas de Lattes foi perguntar a Gardner quanto tempo ele mantinha as emulsões no revelador. Resposta: quatro minutos. O brasileiro disse que esse tempo deveria ser dez vezes maior. Também retirou o excesso de papel preto que envolvia as emulsões, pois, segundo ele, isso ‘freava’ os mésons. Assim o problema foi resolvido, e os primeiros píons (negativos) apareceram para o olhar treinado de Lattes uma semana depois de sua chegada. Gardner e Lattes publicaram esses resultados em Science [6]. Mais tarde (e com mais dificuldade) foram detectados mésons positivos, pois esses se misturavam com as trajetórias de outras partículas nas emulsões [7].

Pouco antes de seu retorno ao Brasil, Lattes ainda, a pedido de Edwin McMillan, analisou emulsões expostas ao feixe de 300 MeV de raios gama gerados pelo sincrociclótron. Lá estavam também as trajetórias de vários píons. Lattes não sabe o que foi feito com aquelas chapas, mas afirma que certamente foi a primeira fotoprodução de píons da história.

Em 1984, em um texto publicado na Folha de S. Paulo (21/7), Occhialini disse que, se Lattes tivesse trabalhado apenas aqueles dois anos em Bristol, o lugar do brasileiro estaria certamente garantido na história.

ria da Física e que a detecção artificial pertencia a uma outra época. No entanto (sem querer tirar o mérito de um dos grandes mestres da física experimental do século passado), valeria destacar que a detecção artificial em Berkeley foi, de longe, muito mais importante que a natural.

Sem querer ser exaustivo sobre os desdobramentos da detecção artificial, poderíamos dizer que ela:

i) É tida como o marco de inauguração da área de física de partículas como uma disciplina autônoma;

ii) Significou o controle sobre a produção de partículas com energias superiores às da radiação alfa (núcleos de hélio) e beta (elétrons), que os físicos buscavam havia muito, desde as primeiras proposições teóricas de Ernest Rutherford, ainda em 1927;

iii) Representou um grande impulso para a construção de “aceleradores gigantesco”, conforme palavras do próprio Ernest Lawrence, inventor do ciclotron, primeiro acelerador de partículas, em 1931;

iv) Fez com que a comunidade de físicos de raios cósmicos passasse a ver com certa desconfiança a precisão

das técnicas desenvolvidas e empregadas pelo grupo de Bristol, do qual, ironicamente, Lattes fazia então parte, pois os resultados de Berkeley apontavam uma razão de 1,3 entre a massa do pión e do múon, enquanto aqueles obtidos em Bristol davam essa razão como 2 (com base nisso, o grupo de Powell sugeriu que, juntamente com o múon, o pión decaía em uma partícula neutra, com massa equivalente à desse lépton).

## Empurrado pela História

O nome de Lattes estará para sempre vinculado às duas detecções do méson pi. Mas ele foi bem mais além do que isso. Na década de 1960, descobriu novos fenômenos, como os chamados mirim, açu e guaçu, tidos como produção múltipla de mésons e até hoje mal-entendidos; estabeleceu laboratórios no Brasil e no exterior; e concretizou uma colaboração intensa e duradoura com o Japão, juntamente com Yukawa, na área de raios cósmicos, com o uso, em Chacaltaya, de detectores terrestres de grandes proporções. Envolveu-se ainda com o estudo das constantes da natureza e levantou, equivocadamente, hipóteses sobre a teoria da relatividade de Einstein.

A partir de meados da década de 1950, o uso de câmaras de Wilson e de emulsões em grandes altitudes passou a ser substituído pela pesquisa em aceleradores. Hoje, de certa forma, o trabalho iniciado pelos pioneiros no estudo de raios cósmicos se revitalizou na forma de laboratórios de proporções gigantescas,

como é o caso do Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger, cujos detectores, à base de tanques de água ultrapura, ocupam cerca de 3 mil km<sup>2</sup> na cidade de Malmargüe, na província de Mendoza, no oeste

plano e árido da Argentina, aos pés dos Andes.

Em entrevista feita nas comemorações de 50 anos da detecção do méson pi, Lattes foi perguntado se, caso tivesse chance, mudaria algo em sua

**Hoje, o trabalho iniciado pelos pioneiros no estudo de raios cósmicos se revitalizou na forma de laboratórios de proporções gigantescas, como é o caso do Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger, cujos detectores, à base de tanques de água ultrapura, ocupam cerca de 3 mil km<sup>2</sup>**

**Para Occhialini, os dois anos de Lattes em Bristol bastariam para garantir o lugar do brasileiro na história da Física. No entanto, outros consideram que a detecção artificial em Berkeley foi, de longe, muito mais importante que a natural, em Bristol**

vida. Foi enfático: “Não. Fui empurrado pela história e fiz o possível”. Em sua resposta, pode-se ler o principal traço de sua personalidade: a humildade. Some-se a isso a bondade (basta perguntar a quem teve o prazer de conviver, ainda que brevemente, com ele). Lattes também foi polêmico. Seus momentos de depressão e euforia prejudicaram-no bastante, dando, muitas vezes, uma idéia errada sobre quem ele verdadeiramente era. Porém, uma coisa é fato: Lattes é indissociável de sua doença. Assim, para entender sua vida e sua obra, é preciso entender esse binômio.

Certa vez, um jornalista disse que Lattes era “o nosso herói da Era Nuclear” do pós-guerra, de uma época em que a Física era a grande vedete da Ciência. Caracterização bem feita. Foi o nome de Lattes e suas descobertas que possibilitaram a fundação, em 1949, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro. A reboque do CBPF, veio praticamente toda a estrutura político-administrativa

da Ciência no Brasil, começando pelo CNPq, poucos anos depois.

## Justiça, Independência e Grandeza

Em 1949, Yukawa ganhou mercedamente o Nobel, tornando-se o primeiro japonês a receber esse prêmio. No ano seguinte, foi a vez de Powell. Gardner morreu em 1950, em função de um envenenamento devido a uma continuada exposição ao berílio atribuída a seu trabalho durante o projeto Manhattan, que levou à construção das bombas atômicas lançadas sobre o Japão em agosto de 1945. Como foi colocado com perspicácia em um dos obituários de Lattes, escrito por Iuda Lejbman, pesquisador do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, “uma dúvida plausível que se torna pertinente seria o que

poderia acontecer se Gardner tivesse sobrevivido. O ‘lobby’ de Berkeley, absoluto em premiações Nobel em épocas posteriores, poderia estar apoiando Gardner e Lattes? Especulação...”

Quase um ano depois da morte de Lattes – e mesmo sem o Nobel que muitos almejam para o Brasil –, todos aqueles envolvidos com a Ciência neste país, de funcionários e estudantes a pesquisadores

e políticos, de linguistas a astrofísicos, de norte a sul, de leste a oeste, deveriam refletir uns poucos instantes sobre quem foi Lattes e o que ele fez pelo Brasil. Assim, certamente haverá esperança de que

este país siga rumo àquilo que esse grande cientista – que também foi um grande ser humano – sempre quis para o povo brasileiro: justiça social, independência política e grandeza cultural.

**Foi o nome de Lattes e suas descobertas que possibilitaram a fundação, em 1949, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro. A reboque do CBPF, veio praticamente toda a estrutura político-administrativa da Ciência no Brasil, começando pelo CNPq, poucos anos depois**

## Referências

- [1] C. Lattes, P. Fowler and P. Cser, *Nature* **159**, 301 (1947).
- [2] G. Occhialini and C.F. Powell, *Nature* **159**, 93-94 (1947).
- [3] C. Lattes, H. Muirhead, G. Occhialini e C.F. Powell, *Nature* **159**, 694-697 (1947).
- [4] C. Lattes, G. Occhialini e C.F. Powell, *Nature* **160**, 453 e 486 (1947).
- [5] C. Lattes, G. Occhialini e C.F. Powell, *Proceedings of the Physical Society of London* **61**, 173 (1948).
- [6] E. Gardner e C. Lattes, *Science* **107**, 270 (1948).
- [7] E. Gardner e C. Lattes, *Physical Review* **75**, 382 (1949).

## Leia mais

- A. Marques, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 467 (2005).
- A. Marques (ed) *Cesar Lattes, 70 Anos - A Nova Física Brasileira* (CBPF, Rio de Janeiro, 1994).
- B. Foster e P.H. Fowler (eds) *40 Years of Particle Physics* (Adam Hilger, Bristol, 1988).
- C. Lattes, *O Nascimento das Partículas Elementares*, in *Ciência e Sociedade* (CBPF, Rio de Janeiro, 1997).
- C.F. Powell, *Fragments of an Autobiography*

- (Bristol University, Bristol, 1987).
- C.F. Powell, P.H. Fowler e D.H. Perkins, *The Study of Elementary Particles by the Photographic Method - An Account of the Principal Techniques and Discoveries Illustrated by an Atlas of Photomicrographs* (Pergamon Press, Nova York, 1959).
- C.L. Vieira e A.A.P. Videira, *Entrevista de César Lattes, Superinteressante* (Editora Abril, São Paulo, 1997), p. 28-37.
- D. Griffiths, *Introduction to Elementary Particles* (John Wiley & Sons, Nova York, 1987).
- D. Perkins, *That Third Pion* in: CERN Courier (seção de cartas) (fotocópia, sem data).
- F. Caruso, A. Marques e A. Troper (eds) *Cesar Lattes, a Descoberta do Méson Pi e Outras Histórias* (CBPF, Rio de Janeiro, 1999).
- F. Close, M. Marten e C. Sutton, *The Particle Explosion* (Oxford University Press, Oxford, 1986).
- G. Occhialini, *Ciência e Cultura* **36**, 2.066 (1984), também publicado na Folha de S. Paulo em 21/7/84, p. 36.
- H.M. Nussenzveig e A.A.P. Videira, (eds) *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **67**:1 (1995), suplemento relativo ao *Guido Beck Symposium*.
- H.M. Nussenzveig, C.L. Vieira e F. de S. Barros, *Ciência Hoje* v. **19** n. 112, 1 (1995).
- J. Bellandi e A. Pemmaraju (eds) *Topics on Cosmic Rays - 60th anniversary of C.M.G.*
- Lattes* (Editora da Unicamp, Campinas, 1984).
- J. de P. Assis (ed) *Cesar Lattes - Descobrimos a Estrutura do Universo*. Série *Perfis Brasileiros* (Editora Unesp, São Paulo, 2001).
- J. dos Anjos e R. Shellard, (eds) *Raios Cósmicos - Energias Extremas no Universo*. Folder da série *Desafios da Física* (CBPF, Rio de Janeiro, 2005).
- L. Gariboldi, *Lattes' Contribution to the Discovery of Pi Meson in Bristol* (disponível no sítio pessoal do autor, <http://www.brera.unimi.it/old/Atti-Genova-2002/013-gariboldi%20definitivo.pdf>).
- L.M. Brown e L. Hoddeson (eds) *The Birth of Particle Physics* (Cambridge University Press, Nova York, 1983).
- L.M. Brown, M. Dresden e L. Hoddeson, (eds) *Pions to Quarks: Particle Physics in the 1950s* (Cambridge University Press, Nova York, 1989).
- P. Galison, *Image and Logic* (Chicago University Press, Chicago, 1997).
- V.V. Ezhela, B. Armstrong, B.B. Filimonov, S.B. Lugovsky, B.V. Polishchuk, S.I. Striganov, Y.G. Stroganov, R.M. Barnett, D.E. Groom, P.S. Gee e T.G. Trippe (eds), *Particle Physics: One Hundred Years of Discoveries - An Annotated Chronological Bibliography* (American Institute of Physics, Nova York, 1996).

# Resenhas

## Os Jogos da Natureza

**M**ário Novello, em *Os Jogos da Natureza*, nos oferece uma abordagem extremamente interessante e original acerca da cosmologia e da física moderna, tendo escolhido, como fulcro de seu livro, duas coisas essenciais à divulgação científica: o *sonho* e a *curiosidade*.

Paulo Freire afirma, certamente com um olhar de educador, que *é impossível viver sem sonho*, e isso é particularmente verdade, indispensável mesmo, para o cientista. Mas o sonho, via de regra, é uma experiência muito íntima. Ao se propor a fazer divulgação científica, o pesquisador deve buscar ampliar o sentido dos seus sonhos, deixando de lado os significados subjetivos do sonhador, confinados às quatro paredes do seu escritório, tentando que o seu sonho envolva seu interlocutor [1], contaminando-o, de preferência. Cabe, portanto, a quem se propõe a escrever sobre Ciência para o público em geral e, principalmente para o público jovem, como é a proposta de Novello, oferecer condições para despertar o sonho no leitor. Como dizia o filósofo francês Gaston Bachelard, *o sonhador não consegue sonhar diante de um espelho que não seja 'profundo'* [2]. *Os Jogos da Natureza* oferecem, sem dúvida, esse espelho. É um espelho que vai além do espelho de *Alice no País das Maravilhas*. É um espelho cuidadosamente polido e propício à reflexão sobre a verdade científica. Nele espelha-se, por exemplo, uma reflexão crítica sobre o fazer Ciência, com o cuidado de quem tem muita experiência e a consciência do

*não saber* socrático. Aproveitando-se das analogias e diferenças entre dois jogos - o Xadrez e o Go - o autor, de forma metafórica e de fácil compreensão, apresenta e discute possíveis cenários para a compreensão do Universo, desde sua origem, se é que houve, apontando as principais diferenças das regras e das estratégias dos jogadores. Entretanto, como um bom espelho, o livro não emite julgamento de valor sobre as regras e as estratégias distintas dos dois jogos. Ele simplesmente está ali, para que o leitor forme sua opinião acerca das diferentes correntes científicas que visam explicar o Universo; ao mesmo tempo, a jovem curiosa, Maria Luisa, personagem principal do livro, vai se encantando com a Física e tentando formar a sua própria opinião. E aí chegamos ao outro ponto mencionado no início: a *curiosidade*.

O motivo da escolha da persona-



gem jovem é evidente: o jovem, quase que por definição, é curioso por excelência. Mais do que isso, lendo o livro, fica evidente que Novello concordaria com Peter Brian Medawar, quando ele diz que é claro que existe um limite para a Ciência da seguinte forma: [esse limite] *é evidente pela existência de questões que a Ciência não pode responder e que nenhum avanço concebível da Ciência a capacitaria a responder*. Essas..., completa Medawar, *são as questões que as crianças perguntam*. O pai de Luisa (que é físico) que o diga! Ele faz o melhor que pode para tentar responder algumas dessas perguntas embaraçosas. Muitas vezes ele próprio não se dá por satisfeito com as suas respostas, mas isso, na verdade, não importa muito. Talvez ele não saiba os sonhos que suas respostas, mesmo incompletas, despertam em sua filha. Dormindo ou acordada, os sonhos de Luisa são recorrentes.

Entre sonhos e pesadelos de Luisa, Novello foi capaz de abordar, de forma lúdica, vários temas que fascinam muitas pessoas, tais como: buracos negros, a vida das estrelas, o tempo, as partículas elementares, as regras de seleção da natureza, tudo isso à luz das diferentes versões da origem do Cosmos.

Preocupado com a clareza da linguagem, o autor apresenta, no final do livro, um glossário útil ao leitor não familiarizado com o jargão da física moderna.

Em suma, trata-se de um dos melhores livros de divulgação científica já escritos por um pesquisador brasileiro que, com certeza, fará todo leitor sonhar e lamentar-se de ter lido o livro tão rápido.

*Os Jogos da Natureza*, por Mário Novello. Ed. Elsevier, Rio de Janeiro (2004), 180 p.

Francisco Caruso  
CBPF & UERJ

## Notas

- [1] F. Caruso e M.C.S. Freitas, *Educar é Fazer Sonhar* (CBPF, Ciência & Sociedade, CS-009/2003).
- [2] Gaston Bachelard, *A Terra e os Devenhos do Repouso* (São Paulo, Martins Fontes, 1900), p. 157.

## Física Contextualizada

**E** com satisfação que tomo conhecimento deste trabalho, um esforço a mais para introduzir atividades experimentais no ensino de Física, aspecto da nossa educação científica que apresenta sérias deficiências, como reconhecem todos os que estão nela envolvidos. As autoras, ambas pesquisadoras na área, declaram que a obra visa oferecer subsídios aos professores dos ensinos Fundamental e Médio em sua tarefa cotidiana, e apontam possibilidades de ser adaptada para um tratamento interdisciplinar da matéria.

À primeira vista o livro já convida à leitura: sua configuração externa é agradável, o papel usado em sua confecção é de boa qualidade, as ilustrações são bem escolhidas com fotos e desenhos discretos, suavemente coloridos, a diagramação simples propicia fácil percepção das subdivisões do conteúdo, etc. Ao abri-lo já deparamos com o Sumário, apresentado com bom gosto e originalidade: cada parte do conteúdo é identificado com uma pequena foto do Pantanal, local escolhido para contextualizar as atividades.

Apresentação: incluída logo após o Sumário, esta divisão da obra contém uma visão geral dos pressupostos teóricos que a embasam. Conforme a explanação das autoras, estas idéias foram propostas pelo educador e pesquisador francês Guy Brousseau, que trabalha com *Didatique Mathématiques*, recebendo a seguinte denominação: Teoria das Situações. Neste processo de ensino, situações problemáticas devem ser apresentadas ao estudante, que passa a procurar soluções para o problema usando os conhecimentos que já possui, supervisionado pelo professor. Na busca, o aluno se apropria de novos saberes até chegar às respostas desejadas, apresentando-as ao professor que aprova ou não os resultados. Assim o estudante progride, adquirindo, por ele próprio, novos conhecimentos, quase como se a aprendizagem resultasse de uma espécie de pesquisa. É uma proposta revolucionária, se comparada com o ensino habitual, no qual

o papel do aluno é passivo, limitando-se a aplicar o conhecimento que lhe é ensinado pelo professor.

### Os sete problemas propostos

#### 1 - Ache o jacaré no Pantanal

Na proposição do problema, imagina-se um grupo de turistas chegando a Campo Grande desejando observar jacarés nos locais onde eles geralmente se mantêm a espera de alimentos. O estudante deverá se colocar na situação de funcionário de agência de turismo e orientará o turista, ensinando-o como chegar ao jacaré, cuja posição ele conhece.

#### 2 - As cores do Pantanal

Os turistas, admirando as cores da fauna e da flora, perguntam: o que causa essa beleza exuberante?

O estudante deve propor, planejar e executar diversas tarefas relacionadas com o fenômeno das cores e analisar os aspectos da Física envolvidos nestes conhecimentos, muito presentes em suas vidas.

#### 3 - As cores do arco-íris

Na apresentação deste problema é suposto que turistas se encantem com o fenômeno do arco-íris, que ocorre freqüentemente na região onde o clima é quente e úmido. Para melhor compreensão do problema que atrai a curiosidade de qualquer pessoa, as autoras sugerem que os estudantes realizem uma experiência na qual são abordados diversos conhecimentos da Física, indispensáveis para a compreensão do problema.

#### 4 - Quantas pessoas cabem num bote?

O problema se refere à descoberta do número de pessoas que poderiam se acomodar em um único bote, com segurança. Esta situação poderia surgir durante uma pescaria no Pantanal. Para resolvê-lo as autoras sugerem uma experiência que represente um modelo da situação real: um pequeno pote de plástico, que flutua em um recipiente maior contendo água. Chumbadas são colocadas dentro do pote, que vai afundando na água do recipiente. Cada chumbada

colocada no pequeno pote é considerada como se fosse uma pessoa que entrasse no bote. Assim a situação problemática é relacionada com alguns princípios físicos: flutuação de um objeto mergulhado na água ou Princípio de Arquimedes, densidade, empuxo, etc. O modelo proposto conduz a uma solução simplificada do problema.

#### 5 - Qual é o tamanho do peixe?

Como se sabe, a pesca deve obedecer normas estabelecidas para garantir a preservação da fauna. Neste caso a situação foi proposta como se tratasse de uma pescaria na região do Pantanal. A norma principal geralmente se refere ao peso e comprimento mínimos que o peixe deve ter para que sua pesca seja permitida. Para discutir o problema do cumprimento destas exigências, as autoras resolveram relacioná-las com a medição destas propriedades usando uma fita métrica, que não seria difícil adquirir, e um dinamômetro que precisaria ser construído, pois não seria encontrado no comércio local. Foram analisados então vários aspectos destes aparelhos e as grandezas físicas envolvidas na tarefa.

#### 6 - Andando sobre a água

A situação proposta para essa atividade se refere ao fato de um inseto poder se deslocar sobre a água, que



conduz ao estudo da tensão superficial. O desenvolvimento do assunto é também relacionado com a transmissão da dengue.

### 7 - Iluminando o acampamento

Nesta atividade o problema proposto situa-se na área de eletricidade: pescadores que deveriam passar a noite em um camping, no qual havia fornecimento de energia elétrica, mas onde a rede de distribuição não havia sido instalada. O desafio para eles (e evidentemente para os alunos) seria propor e executar a distribuição mencionada. Várias dificuldades relacionadas com a solução do problema são tratadas: a discussão de todos os fenômenos envolvidos (intensidade de corrente, voltagem, resistência, potência, energia, fios de ligação, etc). Outros materiais foram simulados com pequenas lâmpadas e baterias para a construção e discussão do modelo.

### Comentários

As autoras terminam a apresentação das atividades alertando que pequenas alterações podem ser facilmente trabalhadas para adaptá-las a outros contextos e outros assuntos. Chamam também a atenção para a simplicidade dos materiais exigidos na realização das experiências e o fato de poderem ser executadas em salas de aula comuns. Como dissemos, sugestões deste tipo são sempre bem recebidas, pois oferecem idéias interessantes que podem ser usadas para suprir a propalada carência de atividades experimentais no ensino das Ciências no Brasil. Julgo que poderia recomendar sua leitura aos professores visados de uma maneira geral. Entretanto, em uma primeira edição de uma obra sempre surgem enganos, pequenas falhas e alguns erros que precisam ser corrigidos. Assim, sugiro às autoras uma revisão cuidadosa da obra para que seja possível, em próxima edição, reparar

as falhas que, provavelmente, elas próprias já perceberam. Além disso, esclareço que, sem querer diminuir a importância da obra, vejo a proposta como uma opção alternativa válida para enriquecer a abordagem experimental do nosso ensino de Física, mas não para ser usado como um processo exclusivo para ensinar essa matéria: não considero aconselhável conduzir a aprendizagem da Física pelo uso exclusivo da solução de problemas. Nos próprios exemplos apontados pelas professoras Shirley e Umbelina, em certos momentos, vemos que há um número muito grande de idéias introduzidas na solução das questões que levariam a uma aprendizagem superficial e pouco significativa dos conceitos introduzidos, se pensarmos que o aluno estaria tomando contato com o assunto pela primeira vez.

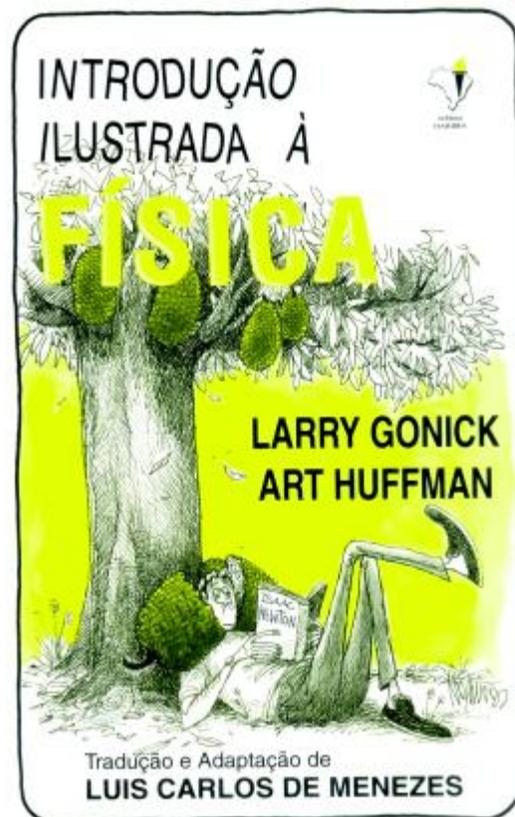
*Física Contextualizada: Uma Viagem Pelo Pantanal*, por Umbelina Giacometti Piubelli e Shirley Pacheco Gobara. Editora da UFMS, Santa Maria, 60 p.

Beatriz Alvarenga Álvares  
Departamento de Física/UFMG

### Introdução Ilustrada à Física

Supreendente? Sim, tanto pelo formato em *cartoons* bem-humorados - que recordam as ilustrações de Henfil no ótimo *Física com Martins e Eu*, do Professor Pierre Lucie - quanto por abordar temas como relatividade, equações de Maxwell e eletrodinâmica quântica... tão ausentes da maioria dos livros didáticos de Física destinados ao Ensino Médio. O livro foi dividido em duas partes: a primeira sobre mecânica e a segunda, eletricidade e magnetismo.

Os autores - quase sempre disfarçados de Lúcia - uma garota muito



simpática e didática - procuram interagir com o leitor fazendo uso da linguagem coloquial (embora cuidadosa) e por meio de exemplos e situações que, às vezes, colocam Ringo (amigo de Lúcia), um sujeito que não é tão questionador quanto Martins (do livro de Pierre Lucie), em grandes embaraços. As discussões ainda contam com a participação dos ilustres e "divertidos" Aristóteles, Galileu, Newton, Coulomb, Maxwell, Einstein...

Para o professor de Física do Ensino Médio, vejo o livro como um bom e divertido recurso didático. Para o estudante, uma leitura introdutória e descontraída sobre alguns tópicos da Física.

*Introdução Ilustrada à Física*, Larry Gonick e Art Huffman, tradução e adaptação de Luís Carlos de Menezes (Editora Harbra Ltda, São Paulo, 1994), 211 pp.

Fábio Luís Alves Pena  
Instituto de Física/UFBA