

Carta do Editor

Mais uma vez retornamos com uma revista que, espero, agrade a todos. Temos procurado variar os temas e para isto a contribuição de nossos autores tem sido inestimável. Caso vocês tenham experiências em sala de aula, indicações de novos livros ou simplesmente quiserem informar a comunidade de algum evento que será realizado em sua escola ou região (ou quem sabe nos enviar um relato de evento já realizado), a FNE é o veículo apropriado para todos aqueles apaixonados por física em particular e ciência de um modo mais geral.

Gostaria de chamar a atenção de nossos leitores para um recente artigo de autoria de Cristiane Kampf intitulado “A educação superior na berlinda: o que não dizem as metas do novo plano?”. Neste artigo, disponível em <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=71&id=882>, Cristiane faz uma interessante discussão sobre o PNE que traz, entre outras coisas, a contribuição de nosso colaborador, o professor Otaviano Helene, professor associado da Universidade de São Paulo (USP) e ex-presidente do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (Inep). Transcrevo aqui uma frase do prof. Helene, sobre a qual acho interessante todos nós pararmos um pouco para pensar. Segundo o prof. Helene, as metas do PNE apenas não foram cumpridas como nos afastamos delas ainda mais. Nas suas pa-

lavras: “Em relação a várias metas, a situação da educação no país piorou nos últimos dez anos. No que se refere à educação superior, o que aumentou foi a privatização. O único item do Plano Nacional de Educação sancionado em 2001 que foi cumprido realmente foi a expansão da pós-graduação. Mas a meta da expansão da pós-graduação foi cumprida não por causa do PNE. Em nenhum momento o CNPq, a Capes e a Fapesp, nem a Faperj, nem a Fapemig, para citar algumas agências de fomento, falaram que precisavam fazer tal ação por causa do PNE. Essa meta foi cumprida porque ia ser mesmo, pelas decisões das agências de fomento, sem correlação com o PNE. Fazia parte de outro programa, estava no departamento de ciência e tecnologia, de formação de quadros para as universidades”.

Isso me fez pensar também em outra coisa: encontro-me, enquanto escrevo estas linhas, na Biblioteca Hayden do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, onde estou visitando o grupo do prof. David Kaiser. O prof. Kaiser é um físico teórico e historiador da ciência com profundo conhecimento das duas áreas. Em seu recente livro, *How the Hippies Saved Physics*, ele conta a história de como um grupo de físicos “rebeldes” que, ao se voltaram para entendimento de questões de cunho mais fundamental na mecânica quântica, seguindo um caminho oposto àquele preconizado nas academias, acabaram por revolucionar a

física de hoje. Eles foram, por assim dizer, os precursores daquilo que hoje chamamos de “informação quântica”. O livro é uma leitura muito agradável, mas o fato que mais me chamou a atenção foi o efeito da política do pós-guerra, onde prevaleceu na física a mentalidade do “shut up and calculate” (cale-se e faça as contas), ou seja, a ideia de que era mais importante calcular do que preocupar-se com questões de cunho mais fundamental. Na onda do crescimento estrondoso do número de estudantes de pós-graduação, surgiram livros embuidos deste espírito, deixando de lado questões fundamentais - a interpretação da mecânica quântica, neste caso - em detrimento de uma formação mais técnica. O importante era saber fazer as contas. Devemos assim pensar que, se crescer é importante e fundamental para o nosso país, para qual direção queremos realmente crescer?

Mais uma vez, enquanto editor, gostaria de agradecer a nossos colaboradores, pois sem suas submissões nossa revista não poderia existir.

A todos uma boa leitura!

Silvio R. Dahmen





.....

Alexandre Novicki

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: alenovicki@gmail.com

Elder da Silveira Latosinski

Instituto Federal Farroupilha, São Borja, RS, Brasil
E-mail: eelderr@gmail.com

Rodrigo Poglia

Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Venâncio Aires, RS, Brasil
E-mail: con.rodrigopoglia@gmail.com

.....

No que se refere ao estudo dos fenômenos ondulatórios, o efeito Doppler-Fizeau é um importante tema a ser trabalhado, visto que descreve situações comuns no dia-a-dia do estudante. Um exemplo disso é a diferença na frequência do som percebido por um observador quando passa por ele uma ambulância com a sirene em funcionamento.

Hoje se verifica que, de maneira geral, a metodologia empregada no ensino de física dificulta a aprendizagem de conceitos e leis. Essa dificuldade pode estar relacionada à não utilização de recursos didáticos, como por exemplo o computador e aplicativos, nas aulas de física.

Este artigo apresenta uma proposta metodológica para o ensino do efeito Doppler-Fizeau a alunos de Ensino Médio através do uso de determinadas tecnologias de ensino, como é o caso do computador, gravador de áudio e aplicativo para análise de dados. Com o estudo aqui apresentado mostraremos como é possível determinar a velocidade de um veículo em movimento em relação a um observador.

Deste modo, apresentamos os resultados de um estudo sobre a frequência do som emitido por uma fonte sonora quando em movimento (efeito Doppler-Fizeau), através da aquisição automática de dados. Nessa aquisição dos dados foi utilizado como transdutor o microfone para captar a frequência emitida pelas fontes sonoras, placa de som como interface para a conversão do sinal analógico em digital e o aplicativo Spectrogram® para o registro e armazenamento dos dados coletados.

A idéia do experimento que será apresentado neste artigo pode ser reproduzida por qualquer pessoa, sendo então fácil sua aplicação, ou no mínimo demonstração,

em sala de aula, para estudantes de nível médio.

Fundamentação teórica

O computador pode vir a tornar-se uma ferramenta cognitiva no processo ensino aprendizagem, criando um ambiente em que o aluno construa sua interpretação do mundo real organizando e sistematizando seus conhecimentos. O professor, atuando como mediador, pode utilizar esta ferramenta no sistema de ensino objetivando preparar o aluno para a inserção no mundo informatizado. Em ciências, o computador atua como "instrumento para a modelagem científica e como suporte ao laboratório" [1].

A interação no processo de ensino e aprendizagem baseia-se na teoria da mediação de Vygotsky, que afirma que o desenvolvimento cognitivo ocorre dentro de um contexto histórico, social e cultural [2, p. 109]. Ainda segundo Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo é a transformação de relações sociais em funções mentais através da mediação entre instrumentos e signos. O instrumento é aquilo que pode ser usado para fazer algo, enquanto o signo é algo que tem significado. Desse modo, o desenvolvimento cognitivo

se dá na apropriação de instrumentos e signos, via interação social [2, p. 110-111].

Algumas publicações relatam positivamente o uso da

aquisição automática de dados [1, 3]. É nessa perspectiva que o presente trabalho trata o computador como uma versão contemporânea daquilo que Vygotsky chamava de instrumento, propondo uma atividade que faz uso dessa tecnologia.

Ainda segundo Haag (*op. cit.*) verifica-se que atualmente os professores que utilizam o computador em sua prática o fazem apenas como instrumento para

Hoje se verifica que, de maneira geral, a metodologia empregada no ensino de física dificulta a aprendizagem de conceitos e leis

Este trabalho propõe uma atividade de aprendizagem sobre ondas sonoras de fácil aplicação a estudantes de nível médio. O objetivo é, utilizando a aquisição automática de dados através do computador, determinar a velocidade de uma fonte sonora baseada no efeito Doppler-Fizeau. Trata-se de uma proposta que, facilitada pela aquisição automática de dados e mediada pela ação do professor, relaciona teoria e prática.

confeção de materiais textuais e apresentações, ou como simples forma de obtenção de informações e comunicação a partir da internet. Neste enfoque, a aquisição automática de dados no laboratório de física tem um papel importante para a alfabetização científica, pois avança sobre o uso do grande potencial do computador, permitindo uma nova abordagem referente às práticas de laboratório.

O uso do computador como instrumento para a aquisição automática de dados em física permite, segundo Haag [1]: enriquecer as experiências práticas e promover novas abordagens e compreensões; permitir realizar experimentos que, manualmente, são impossíveis; desenvolver novas habilidades e competências a partir da redução do tempo na aquisição de dados; obter nos experimentos medidas mais precisas.

O efeito Doppler-Fizeau

O efeito Doppler-Fizeau é denominado assim em homenagem a Johann Christian Andreas Doppler, que o descobriu em 1842 e acabou descrevendo o fenômeno teoricamente, bem como ao francês Hippolyte Fizeau, o qual descobriu o fenômeno de forma independente em estudos sobre ondas eletromagnéticas [4]. Esse efeito é uma característica observada em todos os tipos de ondas quando estas são emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento em relação ao observador.

Aplicado às ondas sonoras, o efeito Doppler-Fizeau explica o fato de ouvirmos um som de frequência diferente da frequência emitida por uma fonte quando esta se encontra em movimento relativo ao observador. Esse efeito é facilmente constatado quando um carro do corpo de bombeiros com a sirene ligada se aproxima ou se afasta de nós. Quando uma fonte sonora encontra-se em movimento relativo a um observador, o efeito Doppler-Fizeau pode acentuar-se, atenuar-se, ou até mesmo desaparecer. Isso dependerá dos módulos, direções e sentidos das velocidades. Se fonte e observador se aproximam, o som percebido terá frequência maior que a natural, ao passo que quando os dois se afastam, o som terá frequência menor que a natural.

Neste artigo apresentaremos uma maneira de calcular a velocidade de um veículo com o uso da aquisição automática de dados, ancorado teoricamente ao efeito Doppler-Fizeau. Para podermos calcular a velocidade de um veículo, primeiro vamos equacionar esse efeito.

Caso a fonte se aproxime do observador, haverá um encurtamento aparente

do comprimento de onda λ_1 , portanto a frequência percebida pelo observador f_{ap} será maior que a frequência real da fonte f .

$$f_{ap} = \frac{v_{som}}{\lambda_1} = \frac{v_{som}}{\frac{v_{rel}}{f}} = \frac{v_{som} \cdot f}{v_{som} - v_{fonte}} \quad (1)$$

$$v_{som} = \frac{f_{ap} (v_{som} - v_{fonte})}{f}$$

Caso a fonte se afaste do observador, haverá um alongamento aparente do comprimento de onda λ_2 , portanto a frequência percebida pelo observador f_{af} será menor que a frequência real da fonte f .

$$f_{af} = \frac{v_{som}}{\lambda_2} = \frac{v_{som}}{\frac{v_{rel}}{f}} = \frac{v_{som} \cdot f}{v_{som} + v_{fonte}} \quad (2)$$

$$v_{som} = \frac{f_{af} (v_{som} + v_{fonte})}{f}$$

Assim, podemos igualar as expressões (1) e (2) afim de obter uma expressão que permita calcular a velocidade da fonte

$$\frac{f_{ap} (v_{som} - v_{fonte})}{f} = \frac{f_{af} (v_{som} + v_{fonte})}{f}$$

$$v_{fonte} = \frac{v_{som} (f_{ap} - f_{af})}{f_{af} + f_{ap}} \quad (3)$$

Metodologia

O experimento realizado para a coleta dos dados utilizados e analisados neste artigo ocorreu na rodovia RS 344, km 70, no município de Santo Ângelo, RS. Na realização de tal procedimento utilizou-se um computador portátil (notebook) colocado no acostamento da rodovia. Foram peças-

chave na realização do experimento dois automóveis.

Cabe salientar que não há necessidade de se realizar o experimento em uma rodovia. O mesmo pode ser reproduzido em uma rua qualquer de sua cidade.

O processo foi realizado da seguinte maneira:

1º) A uma distância de aproximadamente 1 km de onde estava colocado o notebook iniciou-se o movimento do veículo. Esse movimento foi acelerado até atingir-se a velocidade de 100 km/h (velocidade indicada no velocímetro do veículo), velocidade mantida constante cerca de 200 m antes e depois do local onde estava o observador.

2º) Com o uso do microfone interno do computador, capturou-se o som emitido pela buzina do veículo, a qual foi acionada no trecho percorrido com velocidade constante, durante sua aproximação e afastamento.

3º) Com o uso do aplicativo Spectrogram®, previamente instalado no computador, obtiveram-se as frequências durante a aproximação e afastamento do veículo.

Dados coletados e discussão dos resultados

As Figs. 1 e 2 apresentam a tela do aplicativo Spectrogram®, onde estão representadas as frequências do som emitido pela buzina durante a aproximação e afastamento do veículo deslocando-se com velocidade constante de 100 km/h.

Ambas as figuras (Fig. 1 e Fig. 2) apresentam as frequências de aproximação e afastamento, porém conforme pode ser observado na Fig. 1, a frequência de aproximação é de 2927 Hz (Frequency (Hz) 2927 ± 8,5). A Fig. 2 apresenta para

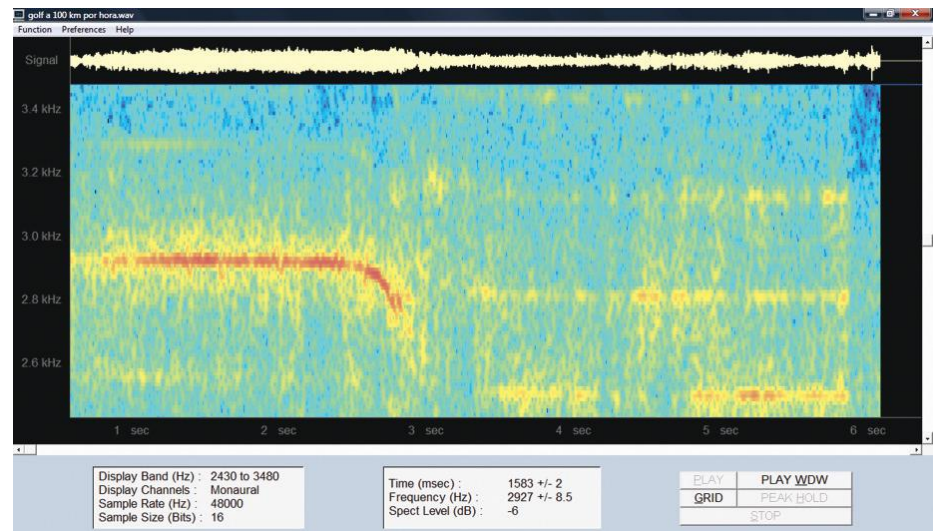


Figura 1 - Comportamento da frequência durante a aproximação do veículo com velocidade de 100 km/h.

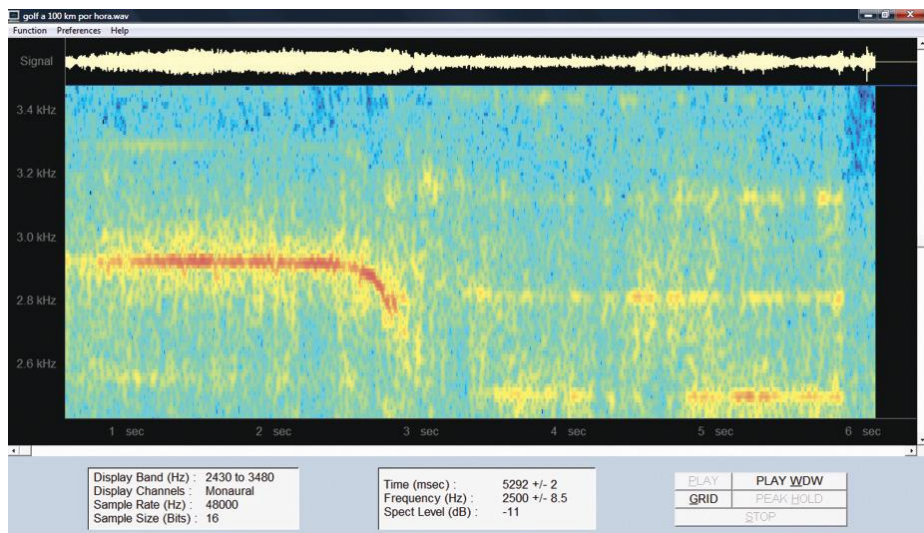


Figura 2 - Comportamento da frequência durante o afastamento do veículo com velocidade de 100 km/h.

a frequência de afastamento 2500 Hz (Frequency (Hz) 2500 ± 8,5). Essas leituras são realizadas diretamente na tela do software, posicionando o ponteiro do mouse sobre as linhas.

Analisando-se as leituras das frequências e considerando a velocidade do som no ar constante e igual a 344 m/s, determinamos a velocidade da fonte (veículo) com base na Eq. (3) que foi deduzida anteriormente.

Frequência de aproximação:

$$f_{ap} = 2.927 \text{ Hz},$$

Frequência de afastamento:

$$f_{af} = 2.500 \text{ Hz},$$

$$v_F = \frac{v_s(f_{ap} - f_{af})}{f_{af} + f_{ap}} = \frac{344(2927 - 2500)}{2500 + 2927} \quad (4)$$

$$v_F = 27,06 \text{ m/s} = 97,5 \text{ km/h}.$$

As Figs. 3 e 4 apresentam a tela do aplicativo Spectrogram®, onde estão representadas as frequências do som emitido pela buzina durante a aproximação e afastamento de outro veículo deslocando-se com velocidade constante de 40 km/h (segundo indicação do velocímetro).

Semelhante à situação anterior, o posicionamento do ponteiro do mouse sobre as linhas nos permite observar na Fig. 3 uma frequência de aproximação de 836 Hz (Frequency (Hz) 836 ± 9,0), e na Fig. 4 uma frequência de afastamento de 783 Hz (Frequency (Hz) 783 ± 8,5).

Analisando-se as leituras das frequências e considerando a velocidade do som no ar constante de 344 m/s, podemos determinar a velocidade da fonte da seguinte maneira:

Frequência de aproximação:

$$f_{ap} = 836 \text{ Hz},$$

Frequência de afastamento:

$$f_{af} = 783 \text{ Hz},$$

$$v_F = \frac{v_s(f_{ap} - f_{af})}{f_{af} + f_{ap}} = \frac{344(836 - 783)}{783 + 836} \quad (5)$$

$$v_F = 11,26 \text{ m/s} = 40,54 \text{ km/h}.$$

Como podemos ver das Eqs. (4) e (5), através dessa atividade foi possível chegar a um valor de velocidades bastante satisfatório em relação ao observado pelo motorista no velocímetro do veículo. Dessa forma essa atividade pode então ser considerada bastante eficaz dentro do contexto ao qual está sendo proposta.

Contudo, na determinação da velocidade da fonte, dois fatores devem ser considerados. Primeiramente a velocidade dos veículos suposta constante foi tomada visualmente pelo motorista através da

observação do velocímetro, sendo implicada, portanto, na imprecisão deste instrumento, além da dificuldade de manter uma velocidade constante em um veículo, embora o experimento tenha sido realizado em um trecho de rodovia em linha reta e sem grandes inclinações.

O segundo fator deve-se à tomada das frequências no aplicativo. Essa leitura foi realizada através do posicionamento do ponteiro do mouse sobre as linhas, implicando aproximações devido à espessura das linhas e um erro percentual definido automaticamente pelo programa.

Conclusão

De acordo com o efeito Doppler-Fizeau, um observador percebe a frequência do som emitido por uma fonte que se aproxima, maior que sua frequência natural. Na situação de afastamento da fonte em relação ao observador, este verifica uma frequência menor que a natural. Essa mudança de frequência percebida pelo observador pode ser observada nas figuras que representam a tela do Spectrogram®. Inicialmente verifica-se uma frequência constante durante a aproximação da fonte, que rapidamente sofre uma redução durante a passagem pelo observador, voltando a manter uma frequência constante, porém menor que a de aproximação.

Cabe salientar que o tema do qual trata o artigo é de difícil entendimento por parte dos alunos do Ensino Médio. Nessa visão, a atividade aqui proposta relaciona a teoria e prática através do uso da aquisição automática de dados, não esquecendo que o professor deve ser o mediador de tal processo. Nesse processo de mediação é importante sabermos que o professor é

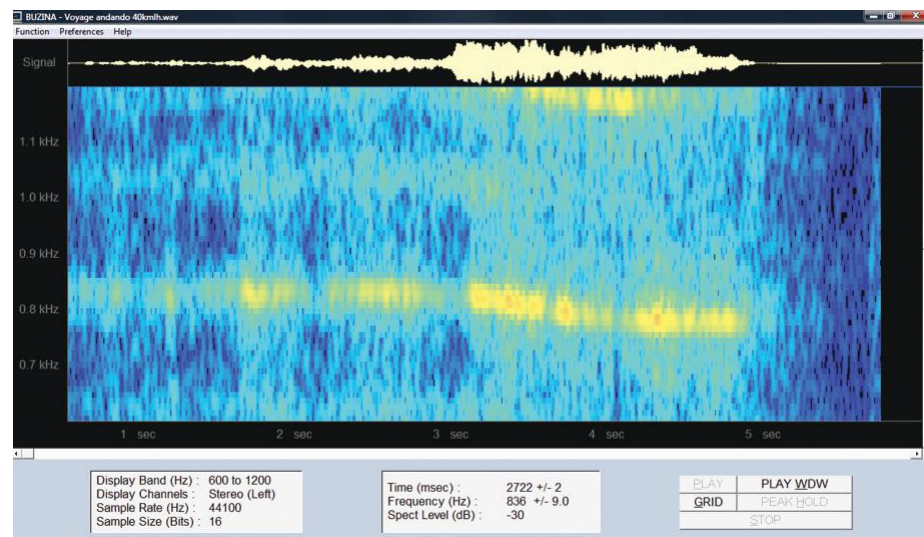


Figura 3 - Comportamento da frequência durante a aproximação do veículo com velocidade de 40 km/h.

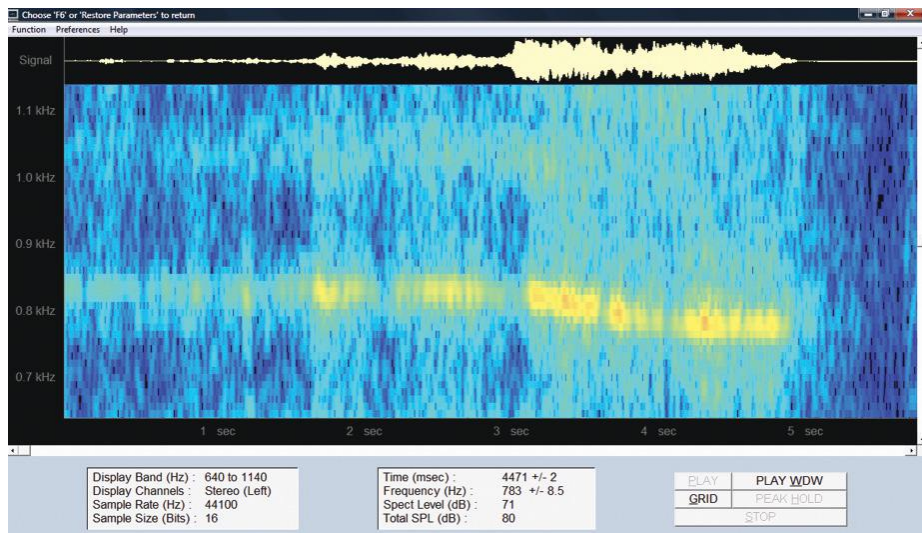


Figura 4 - Comportamento da frequência durante o afastamento do veículo com velocidade de 40 km/h.

o detentor dos significados aceitos no contexto da matéria de ensino e assim orientará as discussões com os alunos a fim de promover o desenvolvimento cognitivo. Tais considerações são feitas com base na teoria de Vygotsky, referencial adotado neste artigo.

Resumindo, o experimento permite que o aluno aproprie-se de um instrumento (o computador) no contexto da física. Além disso, este experimento apresenta uma maneira simples de demonstrar o efeito Doppler-Fizeau, sendo facilmente realizável na escola de nível médio. O aplicativo permite ainda análise de qualquer som gravado de uma fonte em aproximação ou afastamento em relação ao gravador, e consequente determinação

de sua velocidade. Consideramos, assim, ser possível obter valores com boa aproximação conforme apresentado nos resultados.

Para finalizar, é importante salientar que o professor deve ser além de um mediador do processo de ensino-aprendizagem, um motivador na implementação das novas tecnologias no ensino, sempre estando atento à metodologia utilizada. Para levar o estudante a um melhor entendimento de conceitos físicos, é importante que o professor faça uso de novas tecnologias, mas de nada adiantará esse uso caso ele mantenha em prática seus velhos métodos de ensino. Com o uso da aquisição automática de dados, conforme foi feito nesse trabalho, é possível dar um

novo significado ao uso de atividades experimentais no laboratório didático de física [5].

Referências

- [1] R. Haag, I.S. Araujo e E.A. Veit, *A Física na Escola* **6**(1), 89 (2005).
- [2] M.A. Moreira, *Teorias de Aprendizagem* (EPU, São Paulo, 1999), 195 p.
- [3] D. Sias e R. Teixeira, 2008 Caderno Brasileiro de Ensino de Física **23**, 360 (2006).
- [4] P.M. Schuster, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 465 (2007).
- [5] D.B. Sias, *A Aquisição Automática de Dados Proporcionando Discussões Conceituais na Física Térmica do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

Saiba mais

- Alberto Gaspar, *Física – Ondas, Óptica e Termodinâmica 2* (Ática, São Paulo, 2003).
- Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, *Curso de Física 2* (Scipione, São Paulo, 2007).
- Luiz Felipe Fuke, Carlos Tadashi Shigekiyo e Kazuito Yamamoto, *Os Alicerces da Física* (Saraiva, São Paulo, 1998).
- P.G. Hewit, *Física Conceitual* (Ed Bookman, Porto Alegre, 2002), trad. Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina, 9^a ed.
- R. Haag, L.M. Oliveira e E.A. VEIT, *Coefficiente de Restituição em Colisões*, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/>, acesso em 21/7/2009.
- Wilson Carron e Osvaldo Guimarães Carron, *As Faces da Física* (Moderna, São Paulo, 2006).

Soluções das Perguntas do Editor do v. 11, n. 2

O sino soando a intervalos regulares

Se o experimentador estiver perto do sino, ele ouvirá sua batida quase que instantaneamente. À medida que se afasta, isso não mais ocorre: ele verá o sino bater antes de ouvir a batida. Porém, se andar mais um pouco, perceberá que a diferença de tempo diminuirá até que para uma certa distância o som e a imagem da batida voltam a coincidir. Isso ocorre periodicamente, à medida que o observador for se afastando.

Esta coincidência ocorrerá quando a distância do observador ao campanário for igual à distância percorrida pelo sinal

durante o intervalo de duas batidas. O observador ouvirá o primeiro toque e verá simultaneamente a segunda batida. Sabendo que o tempo entre batidas do sino é de 1 segundo, basta tomar a distância andada e dividir por 1 s. O resultado é a velocidade do som.

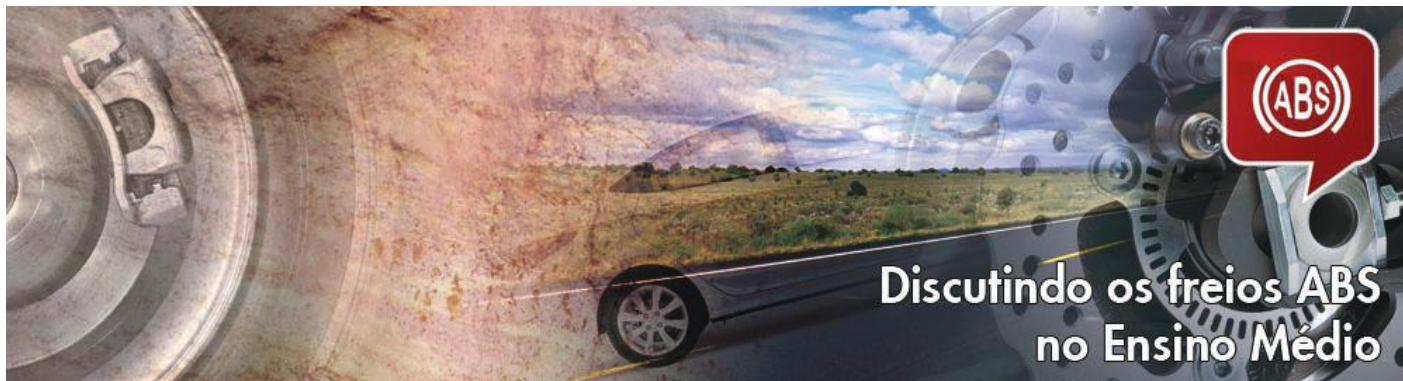
O astronauta fora da nave espacial

O astronauta deve atirar algo para longe, na direção oposta ao foguete. De acordo com a conservação de momento linear, o astronauta adquirirá uma velocidade $V = (m/M)v$, onde m é a massa do objeto, M a massa do astronauta e v a ve-

locidade do objeto arremessado. Este é o princípio pelo qual objetos se movem no espaço.

Dois massas sobre uma régua

Faça com a régua uma balança, colocando seu meio exatamente equilibrado em um pivô. Ajuste os pesos, um para cada lado a partir do meio da régua, até que os objetos se equilibrem. Digamos que o peso M se encontre a uma distância L da régua. O peso padrão m se encontra a uma distância l . Das condições de equilíbrio, $MgL = mgl$ (g é a aceleração da gravidade). Isso nos dá, isolando M , o valor que procuramos.



.....
Leonardo Raduan de Felice Abeid
 Centro Federal de Educação
 Tecnológica, Nova Iguaçu, RJ, Brasil
 E-mail: leoabeid@yahoo.com.br

Alexandre Carlos Tort
 Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio de Janeiro, Rio de
 Janeiro, RJ, Brasil
 E-mail: tort@ufrj.br

.....

A ciência e a tecnologia avançam rapidamente e estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. Este fato reflete-se na escola e não é incomum o professor ver-se às voltas com perguntas do tipo “como funciona o celular?”. O que é um sensor de movimento? Para que serve? Como funciona o GPS? E os freios ABS? Sem contar as perguntas mais conceituais, que versam desde a natureza dos buracos negros até a teoria de cordas, passando pelas partículas elementares, dimensões do universo e outras. Tudo isto representa um sério desafio para o professor do Ensino Médio que deve buscar explicações satisfatórias limitado pelo grau de maturidade intelectual do aluno e pelo nível dos argumentos físicos que pode empregar e pelo fato de que o desenvolvimento técnico-científico baseia-se muitas vezes em conceitos físicos distantes da realidade da maioria desses professores e seus alunos, o que torna o desafio ainda maior.

Freqüentemente é possível ir além da explicação qualitativa e discutir o problema de forma quantitativa com a física do Ensino Médio. Este é o caso

A ciência e a tecnologia avançam rapidamente e estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. Este fato reflete-se na escola e não é incomum o professor ver-se às voltas com perguntas do tipo “como funciona o celular?”

dos itens de segurança disponíveis nos automóveis modernos (cintos de segurança, *air bag*, freios ABS, etc), em que na maioria das vezes falamos de equipamentos cujo funcionamento estão baseados em princípios físicos relativamente simples. Neste artigo focalizamos um desses avanços e apresentamos um modelo simplificado para o cálculo das distâncias de frenagens de veículos equipados com o sistema de freios ABS (Antiblockier-Bremssystem), sistema antibloqueio de frenagem, que será obrigatório para 100% os veículos novos comercializados no Brasil a partir de janeiro de 2014. O modelo emprega

conceitos que pelo menos em princípio são acessíveis aos alunos mais inquisitivos do nosso Ensino Médio atual.

A dinâmica da frenagem

Para frear um automóvel o motorista depende da força de atrito entre os pneus e a pista. Esta força de caráter resistivo depende de diversos fatores, como por exemplo, da velocidade do automóvel, da velocidade angular das rodas e das condições da pista [1, 2]. Por simplicidade, suponhamos um carro trafegando com velocidade constante (v_0) numa pista horizontal. Supondo que as rodas rolem sem deslizar com velocidade angular constante (ω_0) podemos escrever a relação

$$v_0 = \omega_0 R, \quad (1)$$

onde R é o raio efetivo das rodas, que supomos iguais para todas elas. Ao acionarmos o pedal o sistema de freios exerce um torque sobre as rodas, como mostra a Fig. 1. Esse torque é diretamente proporcional à pressão mecânica exercida pelo motorista sobre o pedal do freio, de tal forma que seu aumento pode levar ao blo-

queio das rodas, fazendo com que elas passem a deslizar. Esta situação é indesejável, pois no deslizamento, o condutor pode facilmente perder o controle de seu veículo.

Quando as rodas rolam sem deslizar o atrito é estático, neste caso o módulo da força de atrito (F_{at}) entre os pneus e o solo satisfaz à condição

$$0 \leq F_{at} \leq \mu_e N, \quad (2)$$

onde μ_e é o coeficiente de atrito estático, entre os pneus e a pista, e N é o módulo da força normal. Neste caso a distância de frenagem (d_f) será dada por

No mundo moderno a ciência e a tecnologia são cada vez mais onipresentes em nosso cotidiano. Com relação aos automóveis, isso fica evidente quando observamos o aumento dos itens de segurança neles de segurança neles disponíveis. Neste artigo apresentamos uma descrição da dinâmica da frenagem e propomos um modelo simplificado para o cálculo da distância de frenagem de veículos equipados com freios ABS que pode ser discutido no Ensino Médio. Também propomos uma atividade onde sugerimos uma maneira do professor trabalhar este assunto com alunos neste nível de ensino.

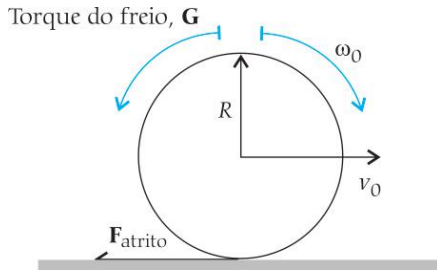


Figura 1 – Quando o sistema de freio é acionado, ele exerce um torque sobre as rodas, fazendo com que sua velocidade de rotação diminua.

$$d_c \geq \frac{1}{\mu_c} \frac{v_0^2}{2g}, \quad (3)$$

onde (v_0) é a velocidade inicial do veículo e g é o módulo da aceleração da gravidade. Quando as rodas estão travadas, e logo há deslizamento, vale a relação

$$F_{at} = \mu_c N, \quad (4)$$

onde μ_c é o coeficiente de atrito estático, entre os pneus e a pista. Desta forma a distância de frenagem (d_c) é dada por

$$d_c = \frac{1}{\mu_c} \frac{v_0^2}{2g}, \quad (5)$$

As Figs. 2 e 3 mostram, respectivamente, a força de atrito e as distâncias de frenagem em função da pressão mecânica exercida sobre o pedal do freio. Como $\mu_e > \mu_c$, a distância mínima de frenagem com as rodas rolando é menor do que a distância de frenagem com as rodas travadas, o que está em acordo com a idéia generalizada de que para frear o automó-

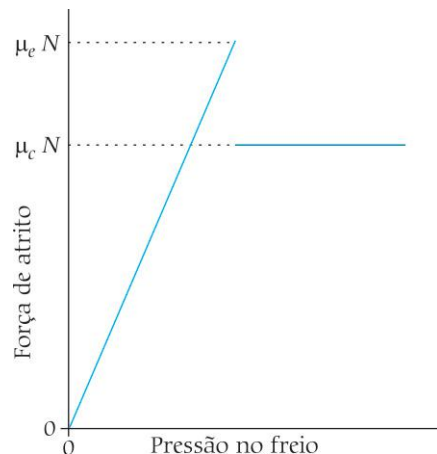


Figura 2 – A força de atrito entre os pneus e a pista aumenta com o aumento da pressão que o motorista aplica no freio (atrito estático). A partir de uma certa pressão as rodas do veículo são travadas e a força de atrito se mantém constante (atrito cinético).

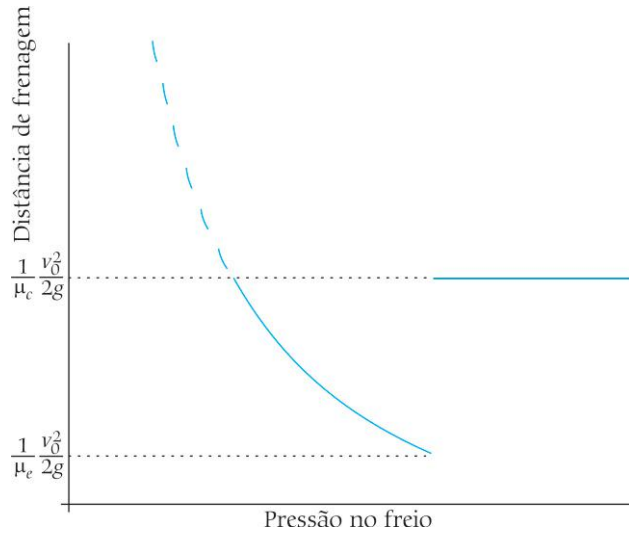


Figura 3 – A distância de frenagem diminui com o aumento da pressão que o motorista aplica no freio (atrito estático). A partir de uma certa pressão as rodas do veículo são travadas e a distância de frenagem se mantém constante (atrito cinético).

vel com mais eficiência basta evitar o bloqueio das mesmas. Observe, no entanto, que além de evitar o bloqueio das rodas é preciso garantir que a força de atrito estático esteja perto do seu valor máximo, ou seja, satisfaça a condição $\mu_c N \leq F_{at} \leq \mu_c N$. Consequentemente, a distância de frenagem satisfaz à condição

$$\frac{1}{\mu_r} \frac{v_0^2}{2g} \geq d_c \geq \frac{1}{\mu_c} \frac{v_0^2}{2g}. \quad (6)$$

Entretanto é difícil para o motorista manter o seu veículo nesta condição apenas com sua habilidade ao volante. Esta é a razão pela qual foi desenvolvido o sistema de freios ABS, que procura não só evitar o bloqueio das rodas, mas também manter a força de atrito entre os pneus e o solo o mais próximo possível do seu valor máximo.

Em um primeiro momento, o sistema ABS reconhece a tendência de bloqueio de uma ou mais rodas e reduz a pressão de frenagem na roda ou rodas envolvidas evitando assim o travamento das mesmas. O sistema monitora a velocidade de cada roda, comparando-as com a velocidade do carro. Quando a velocidade da roda cai em relação à do carro ele entra em ação, diminuindo, ou aumentando a pressão no freio de cada roda, a fim de manter para cada uma a relação $a = \alpha R$, onde α é a aceleração linear do veículo e a é a aceleração angular da roda. Esta operação se repete 15 vezes, ou mais, por segundo, antes que o pneu possa mudar a sua acele-

ração angular de forma significativa. Assim, o sistema ABS mantém os pneus muito próximos do ponto onde eles começam a deslizar, oferecendo o máximo poder de frenagem [3]. A força de atrito entre os pneus e a pista também varia, como mostrado na Fig. 4. Para veículos equipados com ABS, ela varia de um valor máximo $f_{m\acute{a}x}$ até um valor mínimo $f_{m\acute{a}x} - \Delta f_{m\acute{a}x}$, onde $\Delta f_{m\acute{a}x}$ representa um decréscimo do valor máximo dessa força. Este ciclo é repetido continuamente até que o carro pare, assim, podemos escrever que a força de atrito média (f_m) aplicada às rodas é constante e dada por

$$f_m = f_{m\acute{a}x} - \frac{\Delta f_{m\acute{a}x}}{2}. \quad (7)$$

A dinâmica detalhada da frenagem de veículos que possuem o sistema ABS foi

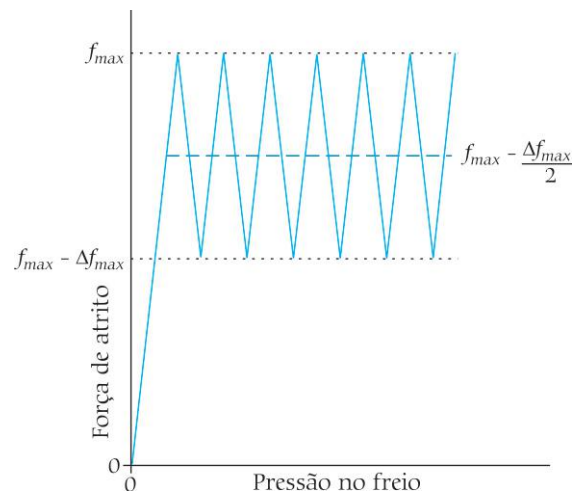


Figura 4 – A força de atrito varia de $f_{m\acute{a}x} - \Delta f_{m\acute{a}x}$ até $f_{m\acute{a}x}$.

descrita por Denny [2] e Tavares [4] que estudaram os efeitos da ação do condutor sobre sistema de freios. Como se deve esperar, essa descrição é matematicamente complexa e fora do alcance dos alunos do Ensino Médio e mesmo de alguns cursos universitários de mecânica introdutória. Aqui escolhemos um caminho mais acessível e que permite discutir o tema com estudantes de nível médio.

Uma vez que a força de atrito é dada por μN , a variação da sua intensidade, mostrada na Fig. 4, pode ser interpretada como sendo devida à variação do coeficiente de atrito (μ). Assim, considerando $f_{m\acute{a}x} = \mu_e N$, podemos escrever a força de atrito média apenas em função do coeficiente de atrito [3], neste caso temos

$$f_m = \mu_{ef} N, \quad (8)$$

onde μ_{ef} é o coeficiente de atrito efetivo, ou seja, é o coeficiente de atrito médio, quando a força de atrito varia de $f_{m\acute{a}x}$ até f_{at} . Substituindo a Eq. (8) na Eq. (7) encontramos o valor de μ_{ef}

$$\mu_{ef} = \mu_e - \frac{\Delta\mu}{2}, \quad (9)$$

onde $\Delta\mu$ é a variação do coeficiente de atrito.

A distância de frenagem para veículos equipados com ABS é dada por

$$d_c = \frac{1}{\mu_{ef}} \frac{v_0^2}{2g}. \quad (10)$$

Como vemos pelas Eqs. (9) e (10), usando este modelo para determinar a distância de frenagem precisamos apenas conhecer o coeficiente de atrito estático e calcular $\Delta\mu$. Na seção seguinte apresentamos uma sugestão para a utilização deste modelo simplificado da frenagem ABS.

Aplicação no Ensino Médio

Após um estudo preliminar das forças de atrito, o professor pode abordar a dinâmica da frenagem de veículos com e sem freios ABS. Será conveniente fazer com que o trabalho dos alunos aproxime-se tanto quanto possível do trabalho de um cientista. Ou seja, os alunos devem observar uma situação, tentar compreender e explicar o que está acontecendo, desenvolver um modelo e comparar os resultados previstos por ele com dados experimentais.

Inicialmente, com a turma dividida em grupos, o professor poderia colocar as seguintes questões:

- Suponha que você esteja trafegando de carro numa rodovia, quando percebe à sua frente um pedestre atravessando-a. Imediatamente você

aciona o freio do automóvel. O que faz veículo parar?

- Em que condição essa frenagem seria mais eficiente?

O objetivo é chegar à conclusão de que quando se aciona o freio, o que faz com que o carro pare é a força de atrito entre os pneus e a pista, e que os alunos percebiam que para que a frenagem seja mais eficiente é preciso que o atrito seja estático, uma vez que $\mu_e > \mu_c$, ou seja que as rodas rolem sem deslizar. No entanto esta não é a única condição, pois como vimos anteriormente a força de atrito estático varia de zero até $\mu_e N$, quando então as rodas ficam na iminência do deslizamento, enquanto que a força de atrito cinético é constante e dada por $\mu_c N$, ou seja: em determinadas condições a força de atrito estático pode ser menor que a força de atrito cinético. Assim o desejável é que não só o atrito seja estático, mas também que a sua intensidade esteja entre $\mu_e N$ e $\mu_c N$, ou seja, $\mu_e N \geq F_{at} \geq \mu_c N$.

Os alunos devem discutir as perguntas acima com seus companheiros de grupo. Com a turma reunida, cada grupo deve apresentar suas conclusões, em um debate promovido pelo professor, que deve orientá-los para que se chegue ao consenso. Após essa discussão preliminar o professor pode propor o seguinte problema aos grupos:

- Suponha que nós desenvolvêssemos um equipamento que otimizasse a frenagem de um automóvel, a que princípio básico ele deveria obedecer?

O que desejamos é que os grupos percebam que tal equipamento deve evitar o bloqueio das rodas, procurando mantê-las rolando na iminência do deslizamento. Novamente o professor deve conduzir o debate entre os grupos. Neste momento ele pode começar a discutir com os alunos o funcionamento dos freios ABS, e a dinâmica da frenagem, que tratamos anteriormente, procurando adequar o conteúdo às especificidades de cada turma. Ou seja, a critério do professor essa discussão pode ser mais qualitativa ou quantitativa, mais ou menos aprofundada.

Um aspecto que deve ser enfatizado é o modelo que utilizamos. Devemos destacar que o objetivo não é apresentá-lo como algo pronto e acabado, que permite aos alunos apenas aplicar uma fórmula. O que pretendemos é que os estudantes possam sugerir mudanças, testar e avaliar sua validade, suas vantagens e desvantagens. Nesse sentido algumas perguntas podem ser feitas, tais como:

- Qual é o valor máximo que $\Delta\mu$ pode assumir?

Durante a frenagem, o ideal é que a força de atrito estático fique entre $\mu_e N$ e $\mu_c N$, pois caso ela seja menor que $\mu_e N$ a frenagem será menos eficiente do que com as rodas travadas, ainda que o atrito seja estático. Assim a variação máxima que o coeficiente de atrito deve ter é dada por

$$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c \quad (11)$$

- Qual seria seu valor ideal?

O desejável é que a força de atrito se aproxime do máximo possível de $\mu_e N$ assim o ideal seria $\Delta\mu \approx 0$ na prática o sistema busca o menor valor possível.

Assim o professor pode pedir que os grupos proponham alternativas para calcular $\Delta\mu$. Eles devem pesquisar os valores de μ_e e μ_c , e sugerir algumas hipóteses para o cálculo de $\Delta\mu$, como por exemplo

$$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c.$$

$$\mu_{ef} = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$$

$$\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$$

$$\mu_{ef} = \frac{3\mu_e - \mu_c}{4}$$

Vale ressaltar que esses são apenas exemplos, caberá aos alunos a sugestão das hipóteses.

Após esta primeira etapa, cada grupo poderá pesquisar na internet valores de referência para μ_e e μ_c , e calcular as distâncias de frenagem. Os grupos poderão então comparar os resultados obtidos com seus modelos com os dados experimentais, Tabela 1, obtidos por Wang e

Tabela 1 – Dados experimentais obtidos por Wang e cols. [5]. A tabela mostra a velocidade inicial e a distância de frenagem em duas pistas diferentes, A e B.

Pista	V_i (km/h)	D_f (m)
A	30	4,76
A	30	4,58
A	30	4,75
A	50	11,65
A	50	11,86
A	50	11,65
A	70	21,79
A	70	21,79
A	70	21,59
B	30	4,37
B	30	4,39
B	30	4,70
B	50	11,51
B	50	11,36
B	50	11,49
B	70	21,73
B	70	21,34
B	70	21,63

V_i = velocidade inicial. D_f = distância de frenagem.

cols. [5], podendo então avaliar se suas hipóteses são boas ou não, o que deve ser feito fora do horário escolar, como trabalho de casa.

Na aula seguinte, os grupos devem apresentar seus resultados, como na Tabela 2, os métodos que utilizaram e suas conclusões para o restante da turma. É preciso ressaltar que o professor não deve decidir qual modelo é o correto, ou qual grupo está com a razão. Cabe à ele conduzir o debate entre os grupos, discutindo a validade, as vantagens e desvantagens de cada modelo proposto e os processos utilizados por cada grupo na busca da solução do problema. Mais do que encontrar uma resposta correta ao problema proposto inicialmente (como calcular o $\Delta\mu$?) é importante que os estudantes desenvolvam a capacidade de resolver problemas.

Tabela 2 – Exemplo de como os grupos podem apresentar seus resultados ao restante da turma.

μ_e	μ_c	$\Delta\mu$	μ_{ef}	v_0 (km/h)	Distância calculada
0,9	0,7	$\mu_e - \mu_c$	0,80	30	4,34
0,9	0,7	$(\mu_e - \mu_c)/2$	0,85	30	4,08
0,9	0,7	$\mu_e - \mu_c$	0,80	50	12,06
0,9	0,7	$(\mu_e - \mu_c)/2$	0,85	50	11,35
0,9	0,7	$\mu_e - \mu_c$	0,80	70	23,63
0,9	0,7	$(\mu_e - \mu_c)/2$	0,85	70	22,24

Conclusões

Embora a dinâmica da frenagem já tenha sido bem detalhada, como nos modelos apresentados por Denny [2] e Tavares [4], em geral sua descrição apresenta uma série de dificuldades para os alunos do Ensino Médio. Assim propomos um modelo simples e que pode ser trabalhado nesse nível de ensino.

Em seu desenvolvimento, algumas dificuldades podem ser apontadas, como a falta de informações sobre a relação entre o comportamento do sistema ABS, e as distâncias de frenagem. Assim é importante que o professor não apresente aos alunos apenas a conclusão do modelo, Eqs. (8-10), mas trabalhe, ainda que qualitativamente, todas as etapas do seu desenvolvimento, com os gráficos e as conclusões que deles podem ser obtidas.

Como ponto positivo podemos des-

taçar que o modelo não é algo fechado, ou seja não é apenas mais uma fórmula à ser aplicada pelos estudantes. Ele permite que os jovens tenham uma postura ativa, buscando a melhor alternativa para o cálculo do $\Delta\mu$, através do levantamento de hipóteses e da comparação dos resultados por elas previsto com os resultados obtidos experimentalmente.

Referências

- [1] H. Moysés Nussenzeig, *Curso de Física Básica 1 – Mecânica* (Editora Edgard Blücher, São Paulo 1997).
- [2] M. Denny, *European Journal of Physics* **26**, 1007 (2005).
- [3] L.R.F. Abeid, *As Forças de Atrito e os Freios ABS Numa Perspectiva de Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em http://omnis.if.ufrj.br/~pef/producao_cademica/dissertacoes/2010_Leonardo_Abeid/dissertacao_Leonardo_Abeid.pdf, acessado em 18/4/2011.
- [4] J.M. Tavares, *European Journal of Physics* **30**, 697 (2009).
- [5] Y. Wang, J. Wu and C. Lin, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* **6**, 3401 (2005). Disponível em http://www.easts.info/on-line/journal_06/3401.pdf, acessado em 4/4/2011.

A Pedra com Alma: A Fascinante História do Magnetismo

Alberto Passos Guimarães, *Civilização Brasileira*, Rio de Janeiro (2011), 336 p.

Diz a sabedoria popular que os opostos se atraem. Mas, em termos científicos, as invisíveis cordas que unem - ou separam - objetos são muito mais complexas. E por séculos encantam os seres humanos. As forças responsáveis pela atração e repulsão de partículas ganham perspectiva histórica e filosófica sob o olhar de Alberto Passos Guimarães, um dos mais importantes pesquisadores brasileiros do tema. Com uma linguagem clara e concisa, ele traça uma evolução do estudo do magnetismo, cobrindo um período de quase três mil anos. Dos gregos, responsáveis pelos primeiros registros do magnetismo, até os dias de hoje, com discos rígidos e ressonância magnética, Guimarães mostra como a compreensão das forças magnéticas resulta na capacidade de manipular

os campos magnéticos que definem o mundo moderno.

China, América Pré-Colombiana, Newton. Cada civilização, cada período de tempo é um passo em direção a uma descoberta surpreendente e tem sempre o magnetismo como uma de suas bases materiais. Hoje, todo o funcionamento de aparelho elétrico ou eletrônico envolve o uso de magnetos. Suas aplicações são infinitas; os números, impressionantes: equipamentos de gravação e reprodução de mídias, por exemplo, movimentam um mercado de 100 bilhões de dólares por ano.

Guimarães mostra o desenvolvimento das ideias dos principais físicos e as relaciona com o aparecimento da ciência como um todo. Também aponta a evolução dos materiais magnéticos e a forma como estes estão mudando nossas vidas. O resultado é um livro incrível, que mistura história e ciência e nos ajuda a compreender muitas das facilidades de nossa vida cotidiana.





O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo

.....

Daniel De Andrade Moura

Escola Estadual Senador Paulo Egydio de Oliveira Carvalho, São Paulo, SP, Brasil

E-mail: ascencao@hotmail.com

.....

Pedro Bernardes Neto

Estudo no Instituto de Artes, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", SP, Brasil

Email: pedro_b.n@hotmail.com

.....

Afísica é uma disciplina na qual os alunos apresentam grandes dificuldades de compreensão e aprendizagem. Ela é considerada por eles uma matéria muito difícil, que evitariam se pudessem [1]. Um dos problemas é que "muitos alunos não conseguem associar os conteúdos aprendidos na escola com o que presenciam no seu dia-a-dia" [2, p. 65].

Uma ferramenta que auxilia a resolver o problema é o uso de experiências em sala de aula. Segundo Quirino e Lavarda [3],

O uso de experimentos pode ser uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar física. De acordo com nossa experiência, quando o professor introduz os experimentos em uma sala de aula comum, ele se vê frente a um novo comportamento dos alunos: mais interessados e participativos. Neste momento ele poderá fazer a opção por uma determinada didática que inclua o uso de experimentos.

O uso de experiências auxilia o aluno a conciliar o seu cotidiano com a teoria abordada em sala de aula, pois elas apresentam a parte prática da física. É preciso enfatizar que a sociedade atual, com toda a tecnologia que dispõe, não aceita mais um procedimento de ensino exclusivamente expositivo [3].

Outra ferramenta igualmente importante no ensino de física é o uso da história da ciência. Por meio dela, o educador pode contextualizar melhor as descobertas científicas abordadas em sala de aula, além de desmistificar o cientista, que ainda é visto por muitos educandos como 'super-heróis' dotados de um superpoder: a inteli-

gência. Se a ciência é ensinada sem uma abordagem histórica, o processo de ensino-aprendizagem resultante reforça o misticismo em torno dos cientistas. Segundo Neves [4, p. 75],

Alijar a ciência de seu processo histórico, de suas contingências e de suas representações é condená-la a um destino que se assemelha mais à religião, ligando paradigmas a dogmas, e sociedades científicas a seitas.

Este trabalho apresenta uma série de experiências para serem trabalhadas em sala de aula, mas não somente com o intuito de facilitar o ensino de física, mas também o de promover a interdisciplinaridade e discutir a importância dos conhecimentos acústicos em alguns momentos históricos. Para isso, são apresentadas e descritas as construções de alguns instrumentos musicais de baixo custo, para serem utilizados no ensino de acústica no Ensino Médio. Depois, são apresentadas sugestões para uso de cada construção no processo de ensino-aprendizagem.

Física acústica no Ensino Médio

A física acústica aborda as ondas sonoras e as suas propriedades. Ela é muito útil para explicar os fenômenos sonoros que estão presentes em diversos ambientes frequentados pelos educandos. Daí a importância de se abordar este assunto na educação formal.

Os alunos do Ensino Médio das escolas estaduais têm uma introdução a física acústica no segundo ano do Ensino Médio [5]. Na maioria das escolas particulares isto também ocorre, pois a maioria dos livros didáticos e apostilas utilizadas por seus educandos apresentam o assunto no segundo ano. A física acústica ensinada no Ensino Médio é apresentada como parte da ondulatória [5-7]. Nela, são dis-

O presente artigo visa dar ao professor de física mais uma ferramenta para o processo de ensino-aprendizagem da acústica, que normalmente é estudada pelos educandos do Ensino Médio no segundo ano do curso. Para isto, este trabalho apresenta uma sugestão de ensino por meio da montagem, em sala de aula, de instrumentos musicais de baixo custo e uma discussão sobre a abordagem da acústica contextualizada por meio da história.

cutidos os conceitos de frequência, período, difusão, entre outros, e a música aparece como consequência da emissão da onda sonora.

A Tabela 1 apresenta os assuntos da física acústica abordados no Ensino Médio da rede estadual de São Paulo. Ela foi montada a partir das apostilas produzidas pela Secretária da Educação do Estado de São Paulo (5). A física acústica tem ligação com a disciplina artes, por explicar como o som é criado e, consequentemente, como a música é desenvolvida.

Além de abordar a onda sonora, a física também explica o funcionamento dos instrumentos musicais. Por isso, “a ciência e a arte não devem ser consideradas como antagônicas ou isolados, mas sim, complementares” [8, p. 2]. A eletroacústica, por exemplo, é um estilo de composição musical em que um indivíduo, sem conhecimentos básicos de acústica, jamais conseguiria entender uma obra musical neste nível, já que ela utiliza a manipulação de diversos elementos do som, como por exemplo os harmônicos, através de meios eletrônicos, afim de possibilitar maior amplitude da linguagem musical.

Embora todos os seres humanos apreciem a música, um dos maiores problemas em trabalhar acústica no Ensino Médio é a falta de conhecimentos básicos da teoria musical pela maioria dos alunos. Isto ocorre devido ao fato de muitas escolas, de educação básica, não abordarem-na em seu currículo. Portanto, os poucos educandos que possuem este conhecimento normalmente desenvolveram-no em aulas

Tabela 1 – Assuntos da física acústica abordados no Ensino Médio.

Assuntos abordados pelas apostilas da rede pública estadual

- Diferenças físicas entre ruídos, sons harmônicos e timbre e suas fontes de produção;
- Caracterização física de ondas mecânicas, por meio dos conceitos de amplitude, comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação e ressonância;
- Problemas do cotidiano que envolvem conhecimentos de propriedades de sons;
- Elementos que compõem o sistema de audição humana, os limites de conforto e a relação com os problemas causados por poluição sonora.

Embora todos os seres humanos apreciem a música, um dos maiores problemas em trabalhar acústica no Ensino Médio é a falta de conhecimentos básicos da teoria musical pela maioria dos alunos

fora da educação formal. De acordo com a lei n. 11769 de 18 de agosto de 2008, a partir de 2011 será obrigatória a inclusão da educação musical no ensino formal, o que pode amenizar este problema. Porém, vale ressaltar que levará anos para que os efeitos da inclusão da educação musical

no ensino formal sejam percebidos e, também, que há uma pequena quantidade de pessoas habilitadas a lecionar nesta área do saber. Segundo um levantamento do INEP [9] em 2007, haviam apenas 2295 professores com licenciatura em música no Brasil.

Como em uma sala de aula a tendência ainda é ter poucos alunos familiarizados com a teoria musical, a aprendizagem de assuntos como harmônicos e frequência das notas musicais fica mais árdua. Para se ter uma noção sobre esta afirmação, em 2 salas de segunda série do Ensino Médio de uma escola estadual, com cerca de 30 alunos cada, foi realizada a seguinte pergunta pelos pesquisadores: “quem possui conhecimento musical, tal como ler partitura ou cifra?”, para a qual apenas 6,7% dos educandos responderam com “sim”.

A montagem de instrumento pode ser uma ferramenta útil para a aprendizagem da física do som no Ensino Médio, pois a construção de instrumentos musicais tem ligação direta com o conhecimento físico e tecnológico da matéria e da acústica [10].

A construção de instrumentos

Nesta seção são apresentadas algumas montagens de instrumentos musicais, um do naipe de cordas, percussão e outro de sopro. Após a descrição da montagem, há uma sugestão de utilização de cada item construído em sala de aula. As montagens foram baseadas no livro de Brito [11]. Há uma descrição da montagem de cada item, de como tocá-lo e do tempo necessário para construí-lo.

3.1- Instrumento de cordas

O violão foi o instrumento escolhido para ser montado, devido a sua grande influência na sociedade brasileira atual. Outro motivo foi a grande presença na história da humanidade de instrumentos que dele são “primos”. A montagem do violão demora cerca de 1 hora e o seu cus-

to é estimado entre 10 e 15 reais.

Montagem do violão

Materiais

- Uma caixa de sapato
- Uma ripa de eucalipto (pinho, etc...) de tamanho 1 x 0,01 x 0,05 m
- Pregos de tamanho médio e grande
- Três pitões ou ganchos
- Três cordas “Mi” de nylon para violão (primeira corda) ou corda de anzol
- Uma caneta de feltro (“canetinha” colorida)

Ferramentas

- Martelo
- Serra
- Cola de contato
- Alicates
- Canivete ou faca de cozinha
- Um copo de vidro 200 mL
- Lápis

Construção do instrumento

Em primeiro lugar, é necessário saber quais são as partes que compõem o violão tradicional, o que é explicitado na Fig. 1. A montagem do instrumento começa pela ripa de madeira, que será colada no fundo da caixa de sapato, bem na parte central. Para isso, recorte, com o canivete ou faca de cozinha, um espaço em uma das laterais menores da caixa de forma a encaixar a ripa de uma lateral a outra (Fig. 2). Demarque, no fundo da caixa de sapato, o local exato onde a ripa será colocada (Fig. 3).

Este violão terá duas “bocas”. Para fazê-las, pegue o copo de 200 mL e coloque-o de cabeça para baixo nas laterais do local demarcado no fundo da caixa de sapato, desenhe dois círculos e depois recorte-os. Encaixe a ripa e cole-a na parte anteriormente demarcada, encostando-a no fundo da lateral menor oposta à do encaixe.

Depois, utilize três pregos, um maior no centro, para prender a ripa no fundo, sendo estes pregados horizontalmente, em linha, deixando-os um pouco expostos para que posteriormente possam prender as

cordas. Tendo realizado esta etapa, é hora de trabalhar na parte externa do instrumento. Primeiro, é necessário obter as medidas dos trastos de braço de um violão tradicional, da pestana até o final da casa 12 do instrumento (por volta de 33 cm). Pegue a caneta de feltro, esvazie-a e corte-a no meio; o local indicado na Fig. 4 é onde se colocará uma de suas metades, que será o rastilho do violão.

Utilizando a medida obtida anterior-

Além de abordar a onda sonora, a física também explica o funcionamento dos instrumentos musicais. Por isso, “a ciência e a arte não devem ser consideradas como antagônicas ou isolados, mas sim, complementares”

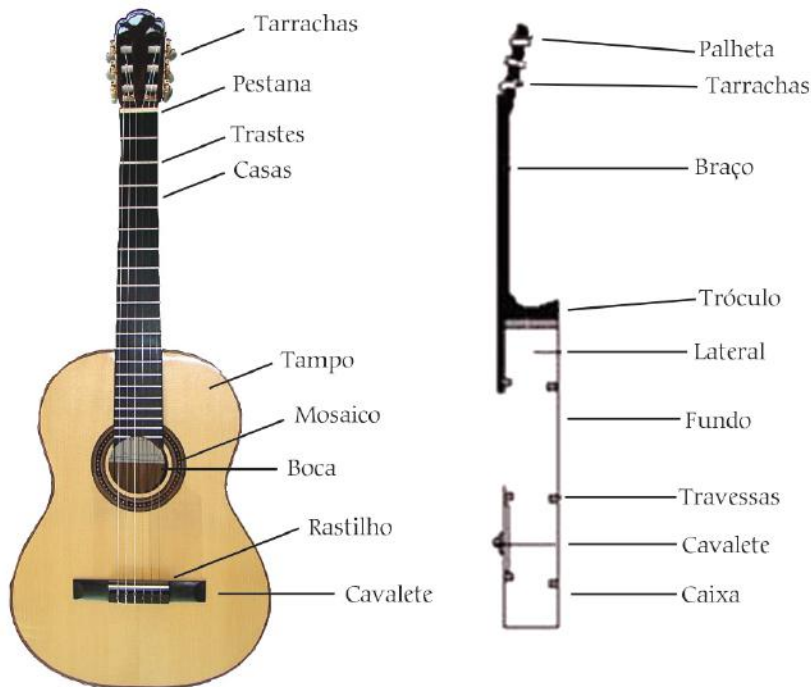


Figura 1 – Partes do violão. Fonte: Violão Mandrião, Ref. [12] .

mente, no caso 33 cm, meça do cavalete 33 cm em relação a ripa e marque esta posição. Meça desta posição os mesmos 33 cm até o final da ripa, e marque tam-

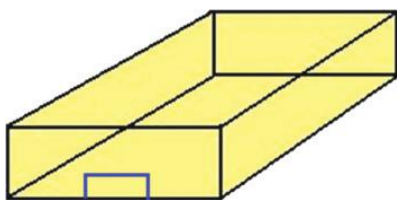


Figura 2 – Caixa de sapato com entrada para a ripa.

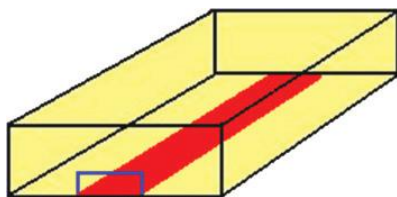


Figura 3 – Caixa de sapato com demarcação para a colagem da ripa.

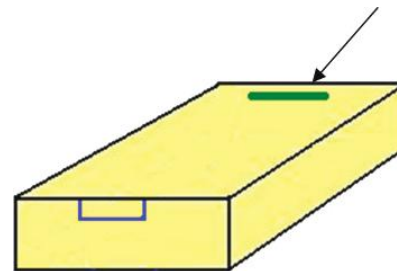


Figura 4 – Caixa de sapato com cavalete de caneta de feltro

bém esta posição, como na Fig. 5. Esta última posição marcada será a pestana do violão (observar a seta no braço do violão), onde a outra metade da “canetinha” deverá ser colocada.

Agora prenda os três pitões na parte anterior à pestana, se possível horizontalmente e em linha. Amarre as três cordas uma em cada pitão, passe-as por cima da pestana e depois do rastilho, então prendas nos pregos que prendem a ripa, mas sempre direcionando-as de forma retilínea, ou seja, a corda do pitão do centro é presa ao prego do centro, e assim por diante. Então gire os pitões para afinar o violão.

Como tocar

Para tocar este instrumento deve-se buscar afinações diversas, visto que não havendo trastos, como no violão tradicional, a possibilidade de se trabalhar com microtons existe, embora em nossa cultura

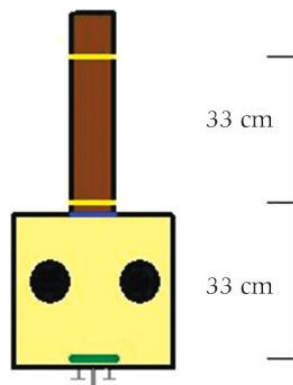


Figura 5 – Medidas do violão.

auditiva eles dificilmente sejam percebidos. Determinada a afinação, toque o instrumento da forma tradicional, “pincelando” com a mão direita (destros) e com a mão esquerda posicionando-se os dedos pelo braço do instrumento. Devido á utilização das canetas de feltro é possível obter os “harmônicos naturais” referentes às casas cinco, sete e doze do violão tradicional, mas em alturas e afinações distintas.

Sugestão de uso do violão enquanto instrumento educacional

Após a montagem do violão, é importante instigar os alunos a investigarem as possíveis notas e sons que o item recém construído pode produzir. Um dos intuitos desta ação é levá-los a perceber a relação entre comprimento de corda e altura do som. Por ser um instrumento de corda, é possível utilizar o violão como motivação para uma abordagem histórico-científica a respeito da criação da teoria acústica que explica a formação das notas em cordas. Foi Pitágoras quem desenvolveu a teoria que associa o comprimento da corda a altura do som que ela emitirá. Ele criou relações matemáticas para calcular a frequência das notas musicais, associando a música com a matemática. Isto colaborou para que, até o século XVI, ela fosse considerada um ramo da matemática [10].

Outra possibilidade de trabalho é discutir a importância dos “parentes” do instrumento montado em contextos históricos, de forma a associar a atividade da montagem do violão a outras disciplinas. Os trovadores, por exemplo, utilizavam o alaúde, um instrumento com o mesmo princípio de funcionamento do violão moderno, para cantar as cantigas de maldizer, amor e escárnio [13].

Concluindo, é possível utilizar o corpo do violão para elucidar o conceito de ressonância com os alunos.

Instrumento de percussão

O instrumento de percussão pode ser qualquer material que, quando percutido, produza um efeito sonoro. Neste grupo se incluem as panelas e vasilhas, dentre outros utensílios domésticos. O maracá foi escolhido para montagem por ter seu som produzido de forma diferente, pois ela necessita que alguém a gire. Sua montagem leva cerca de 30 minutos e o custo pode chegar a 10 reais.

Montagem do maracá

Materiais

- Uma lata de refrigerante vazia
- Um pedaço de papelão
- Um cabo de vassoura ou similar
- Um saco de pregos
- Pedrinhas, de tamanho suficiente para entrar na lata

Ferramentas

- Martelo
- Serrote
- Cola

Como fazer

Pegue as pedrinhas e coloque-as dentro da lata de refrigerante. Depois serre o cabo de vassoura com tamanho aproximado de 30 cm. Coloque o cabo de vassoura com a ponta serrada dentro da lata e pregue-o no fundo dela. Depois feche a boca da lata com o papelão, para evitar vazamento das pedrinhas.

Como tocar

Segure no cabo da vassoura e mexa a lata para todas as direções, se preferir, acompanhe músicas de sua preferência.

Sugestão de uso dos instrumentos de percussão em sala de aula

Além do maracá, é interessante que o aluno leve para a sala de aula outros objetos que possam ser percutidos e produzir som.

Após a montagem do maracá, é importante que os educandos testem o instrumento recém-construído e o compare com os demais objetos que produzem som ao serem percutidos, buscando as diferenças e semelhanças entre eles. Pode-se aproveitar o uso do maracá e dos demais instrumentos percussivos para discutir o timbre.

Uma sugestão para uma abordagem ligada a outras disciplinas é a discussão do uso dos instrumentos de percussão em diversos grupos sociais, enfatizando o grau de importância dos mesmos no cotidiano em diversos eventos e contextos históricos. As tribos africanas, por exemplo, utilizavam diversos instrumentos de percussão em suas cerimônias.

Instrumento de sopro

O instrumento de sopro flauta d'água terá a sua montagem descrita nesta seção. O seu custo é de aproximadamente dez reais, e o tempo para sua construção dura cerca de 10 minutos.

Montagem da flauta d'água

Materiais

- Um cano de PVC de aproximadamente 30 cm
- Uma bexiga de tamanho comum
- Uma fita crepe

Como Fazer

Pegue a bexiga e encaixe-a na boca do cano de modo a não estourá-la, prendendo-a com fita crepe, para que fique bem fixada. Segure o instrumento na vertical, de forma a deixar a abertura do cano com a bexiga na parte inferior. Encha a bexiga com água até a altura do cano.

Como tocar

Para tocar este instrumento, basta soprar na boca do cano de PVC onde a bexiga não está encaixada, tentando produzir o som com maior projeção possível no ato de soprar. Após esta etapa aperte a bexiga, de modo a conseguir outras notas musi-

cais, o que na maioria das vezes serão duas notas para cada medida de água. É importante mencionar que a nota emitida irá variar de acordo com o tamanho do tubo de PVC utilizado e com a quantidade de água na bexiga.

Sugestão de uso dos instrumentos de sopro em sala de aula

Acima há a descrição para a montagem de uma flauta d'água com 30 cm de comprimento. Para o uso em sala de aula, seria interessante montar flautas de várias medidas. Assim como sugerido para os instrumentos anteriores, é importante incentivar os alunos a tocarem os instrumentos recém-construídos. Desta vez, o intuito é fazê-los perceber que a nota emitida depende do tamanho do tubo utilizado e da quantidade de água na bexiga. Assim, pode-se incentivar o educando a estudar fisicamente os tubos sonoros.

Outra coisa que pode ser trabalhada com os alunos é a importância dos instrumentos de sopro no decorrer da história da humanidade. Diversos ritos e cerimônias tinham o tocar deste tipo de instrumento como parte fundamental. Outro exemplo é a importância dada aos tubos sonoros pela área militar.

Conclusão

O âmbito do trabalho aqui proposto é o de auxiliar na promoção da interdisciplinaridade, de forma que física e música trabalhem juntas, no sentido de apresentar possibilidades para uso no processo de ensino-aprendizagem de maneiras não tradicionais, através da utilização de materiais de baixo custo e com tempo de construção relativamente curto, para assim tornar esta proposta de trabalho mais abrangente em nível macro social.

No Brasil a educação tem sérios problemas de infra-estrutura, visto que a maioria das escolas, especialmente da rede pública, não contam com materiais adequados para o processo de ensino-aprendizagem. Sendo assim, a utilização de materiais de baixo custo ampara a proposta de trabalho com a construção de instrumentos musicais e, da mesma forma, no aprendizado de acústica, já que, por seu alto grau de acessibilidade, não priva o aluno de uma experiência de suma importância em seu desenvolvimento humano. De acordo com Britto [11, p. 69]:

Além de contribuir para o entendimento de questões elementares referentes à produção do som e às suas qualidades, à acústica, ao mecanismo e ao funcionamento de instrumentos musicais, a construção de instrumentos estimula a pesquisa, a imaginação, o planejamento, a orga-

nização, a criatividade, sendo, por isso, ótimo meio para desenvolver a capacidade de elaborar e executar projetos.

O presente trabalho apresentou algumas sugestões de montagem de instrumentos musicais em sala de aula, com o intuito de contribuir com o processo de ensino-aprendizagem do tema "acústica" dentro do Ensino Médio. Porém, é preciso ressaltar que as possibilidades para se trabalhar, por meio desta ferramenta, vão muito além do que o presente artigo propõe. Por isso, novas pesquisas na área são necessárias para aprofundar e aperfeiçoar o ensino da física da música em diversos níveis de escolaridade.

Referências

- [1] Cleci Teresinha Werner Rosa e Álvaro Becker Rosa, *A Teoria Histórico-Social e o Ensino de Física*. Disponível em http://www.rioei.org/did_mat22.htm, acesso em 20/1/2010.
- [2] Daniel de Andrade Moura e Ricardo Roberto Plaza Teixeira, *Revista Ciência e Tecnologia*, **11** (2008), disponível em <http://revistavirtual.unisal.br:81/seer/ojs-2.2.3/index.php/123/article/view/87>.
- [3] W.G. Quirino e F.C. Lavarda, *Experimentos de Física para o Ensino Médio com Materiais do Dia-a-Dia*, disponível em http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/rbfe_1pp.htm, acesso em 20/1/2010.
- [4] Marcos Cesar Danhoni Neves, *A História da Ciência no Ensino de Física*, disponível em <http://ufpa.br/ensinofts/artigo4/historiafisica.pdf>, acesso em 20/4/2011.
- [5] Coordenação Maria Inês Fini, *Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Física* (Secretaria do Estado da Educação de São Paulo, São Paulo, 2008).
- [6] Emerson Marcos Furtado, *Ensino Médio: Física, 2ª Série* (Positivo, Curitiba, 2007).
- [7] Alberto Gaspar, *Física – Volume Único* (Ática, São Paulo, 2005).
- [8] Juliana Rocha Tavares e Marcelo de Oliveira Souza, in: Simpósio Nacional de Ensino de Física 2007, disponível em <http://www.cienciamao.if.usp.br/tudo/index.php?midia=snef>.
- [9] INEP, disponível em <http://www.inep.gov.br>, acesso em 20/4/2011.
- [10] Ildeu de Castro Moureira e Luisa Massarini, in: X Reunión de la Red de Popularización de la Ciencia y la Tecnología en América Latina y el Caribe y IV Taller "Ciencia, Comunicación y Sociedad" San José, 2007.
- [11] Teca Alencar Brito, *Música na Educação Infantil* (Peirópolis, São Paulo, 2003).
- [12] Violão Mandrião, disponível em <http://www.violoamandriao.mus.br/>.
- [13] William Roberto Cereja e Thereza Cochar Magalhaes, *Português: Linguagens* (Editora Atual, São Paulo, 2008).



.....
Mauro Costa da Silva

Departamento de Física, Colégio Pedro II, Niterói, RJ, Brasil

E-mail: maurocostasilva@ig.com.br
.....

O estudo da eletricidade é repleto de conceitos abstratos e de difícil compreensão, tais como: campo elétrico, diferença de potencial, corrente elétrica, entre outros. Um longo caminho é trilhado até que os estudantes tenham conhecimento suficiente para entender o funcionamento dos circuitos elétricos básicos, compostos de resistores associados em série, paralelo ou em associação mista.

O conteúdo é extenso e seu estudo é árduo, provocando desinteresse de muitos alunos. Esse quadro pode ser, em parte, revertido com atividades experimentais lúdicas e desafiadoras para os alunos. Essas atividades consistem em o professor propor aos alunos preverem

quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação elétrica e com que intensidade luminosa.¹ Funciona como um jogo onde ganha quem acertar a previsão.

A prática cotidiana estabelece que uma lâmpada acende quando o interruptor é ligado. É também amplamente sabido que uma lâmpada incandescente de 100 W ilumina mais um ambiente que uma lâmpada de 40 W, ou seja, lâmpadas de maior potência nominal² emitem maior intensidade de luz. Essa lógica, bem conhecida, está em perfeito acordo com o estudo da eletricidade, em particular, dos circuitos elétricos. Entretanto, cabe ao professor destacar, e aos alunos compreender, que esse comportamento das lâmpadas é consequência do tipo de ligação a que estão sujeitas nas residências, escolas, e demais estabelecimentos. Mudando a ligação entre as lâmpadas, altera-se seu funcionamento. Desta forma, pode-se afirmar que o comportamento das lâmpadas nas instalações domésticas e comerciais é apenas

um caso particular dos tipos de ligações elétricas possíveis que são estudadas em eletricidade.

Lâmpadas incandescentes comportam-se como os resistores elétricos estudados na teoria dos circuitos. Nas atividades experimentais que serão propostas, as lâmpadas incandescentes farão o papel dos resistores, e a intensidade de luz emitida dará a percepção visual da potência

dissipada em cada lâmpada. Com isso, será possível rever e comprovar os conteúdos previamente ensinados.

Durante as atividades experimentais, o aluno perceberá que ele só terá êxito nas suas previsões sobre quais lâmpadas acenderão se utilizar corretamente os conceitos estudados em sala de aula, em particular, no caso da ligação mista.

Lâmpadas incandescentes comportam-se como os resistores elétricos estudados na teoria dos circuitos. Nas atividades experimentais que serão propostas, as lâmpadas incandescentes farão o papel dos resistores, e a intensidade de luz emitida dará a percepção visual da potência dissipada em cada lâmpada

retamente os conceitos estudados em sala de aula, em particular, no caso da ligação mista.

Metodologia

O método consiste em inicialmente apresentar aos alunos os conteúdos teóricos sobre eletrodinâmica, entre eles: d.d.p., corrente elétrica, resistência elétrica, lei de Ohm, assim como as associações de resistores, destacando as principais características de cada uma dessas associações. Após todos os conteúdos estudados, é proposta uma série de demonstrações experimentais com objetivo de aplicação, fixação e compreensão do funcionamento dos circuitos elétricos.³

Atividades experimentais

Para a realização das atividades experimentais, é utilizada uma montagem com material facilmente encontrado em qualquer loja de material elétrico. A montagem deverá possibilitar a demonstração

Este artigo propõe uma série de atividades experimentais envolvendo ligação de lâmpadas incandescentes em circuitos paralelo, série, ou misto. O objetivo dessa atividade é dar aos estudantes alguma percepção concreta, embora indireta, dos conceitos físicos sobre eletricidade, tais como: corrente; potencial; e resistência. Utilizando os conteúdos previamente estudados sobre circuitos elétricos, os estudantes poderão prever o funcionamento de uma determinada ligação de lâmpadas. Após os devidos cálculos, será possível determinar quais lâmpadas acenderão, bem como estimar a intensidade luminosa em cada lâmpada. Esta intensidade luminosa dará uma percepção visual da potência dissipada nos resistores, substituídos nesta atividade pelas lâmpadas. Esta prática permite aos alunos prever, testar e comprovar seu aprendizado teórico através de experimentos desafiadores.

das ligações série, paralela e mista.

Lista de material

- Folha de Eucatex - 40 cm x 40 cm
- 3 lâmpadas incandescentes de 15 W
- 7 tomadas externas
- 1 lâmpada incandescente de 7 W
- 1 interruptor externo
- 3 m de fio paralelo de 2,5 mm²
- 1 disjuntor 30 A
- 2 tomadas macho
- Fio 2,5 mm²
- 5 bocais com tomada macho
- 1 lâmpada incandescente de 60 W

A Fig. 1 apresenta a montagem do circuito que será utilizado para as ligações elétricas propostas, e a Fig. 2 mostra as lâmpadas e fios que serão utilizados nas diversas ligações.

Procedimento

A primeira demonstração deve ser a associação paralela, pois ajuda os alunos a compreender a teoria dos circuitos elétricos a partir dos seus conhecimentos empíricos. Após apresentada a ligação paralela, deve-se apresentar a ligação série. Nesta, pode-se mostrar que o funcionamento das lâmpadas ocorre em clara oposição à ligação paralela. Em ambas as ligações apresentadas, é possível tirar conclusões gerais sobre a potência nominal das lâmpadas e o respectivo brilho forne-

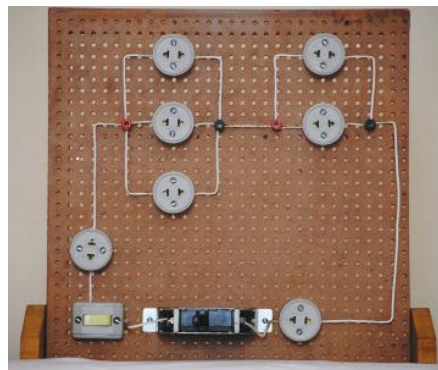


Figura 1 - Montagem de um circuito elétrico.



Figura 2 - Lâmpadas, fios e bocais.

cido por elas quando ligadas em série ou paralelo. A ligação mista, entretanto, não permite qualquer previsibilidade sobre o funcionamento das lâmpadas, a menos que se utilize a teoria dos circuitos elétricos. Por isso, a ligação se torna mais desafiadora. Esse é o foco central dos experimentos: motivar os alunos para que, de forma lúdica, semelhante a um jogo, eles utilizem seus conhecimentos teóricos para determinarem, antecipadamente, quais lâmpadas acenderão numa determinada ligação mista.

Ligação paralela

A ligação paralela deve ser montada utilizando lâmpadas de potências nominais diferentes,⁴ a fim de que os alunos percebam que lâmpadas de maior potência nominal fornecem maior intensidade luminosa. Pode-se mostrar ainda que, ao se desligar uma lâmpada, o funcionamento das demais é inalterado. Essas observações experimentais se verificam no cotidiano do aluno. Desligar a lâmpada de um ambiente não implica desligar obrigatoriamente as lâmpadas dos demais ambientes. A partir dessas observações, é possível concluir que a ligação residencial é uma associação paralela.

A ligação paralela é apresentada na Fig. 3.

Ligação série

Para efeito de comparação, devem-se utilizar as mesmas lâmpadas empregadas na ligação paralela para montar a ligação série, conforme a Fig. 4. Quais lâmpadas acenderão?

Ao ligar o interruptor, o desconforto dos alunos é evidente. As lâmpadas de maior potência nominal emitem menos luz. Eventualmente, uma ou mais lâmpadas não acenderão em função da baixa potência dissipada nelas. É justamente o caso apresentado na Fig. 4. O entendimento técnico desse circuito é apresentado na Fig. 5:⁵

Determinação da resistência das lâmpadas: $P = V^2/R$.

Lâmpada de 7 W:

$$R_{7W} = 110^2/7 \approx 1700 \Omega$$

Lâmpada de 15 W:

$$R_{15W} = 110^2/15 \approx 800 \Omega$$

Lâmpada de 60 W:

$$R_{60W} = 110^2/60 \approx 200 \Omega$$

Resistência equivalente do circuito série:

$$R_{eq} = 200 + 800 + 1700 = 2700 \Omega$$

Corrente elétrica do circuito série:

$$i = 110/2700 \approx 40 \text{ mA}$$

Potência dissipada em cada lâmpada:

$$L_1 (60 \text{ W}):$$

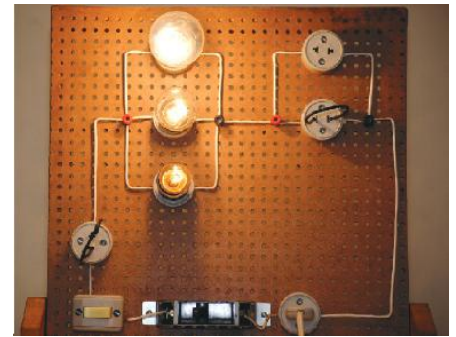


Figura 3 - Ligação paralela feita com lâmpadas de potências diferentes.

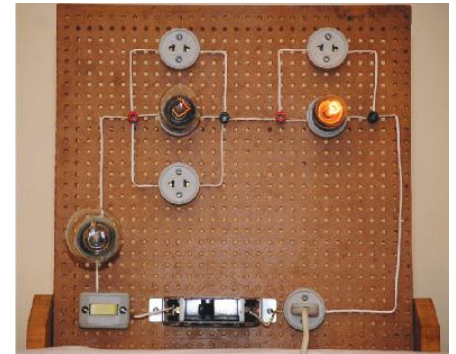


Figura 4 - Ligação série feita com lâmpadas de potências diferentes.

$$P = r \cdot i^2 = 200 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 0,3 \text{ W}$$

$L_2 (15 \text{ W}):$

$$P = r \cdot i^2 = 800 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 1,3 \text{ W}$$

$L_3 (7 \text{ W}):$

$$P = r \cdot i^2 = 1700 \cdot (40 \text{ mA})^2 \approx 2,7 \text{ W}$$

A potência dissipada na lâmpada de 60 W é praticamente nula, o que explica ela permanecer "apagada" na Fig. 4. A lâmpada de 7 W dissipa a maior potência entre as lâmpadas, emitindo maior intensidade luminosa. A potência dissipada prevista na lâmpada de 15 W é cerca de 10% da sua potência nominal. Por isso, apenas o seu filamento fica enrubescido, sem emissão significativa de luz.

Após as observações experimentais, podem-se tirar conclusões gerais. Lâmpadas de menor potência nominal têm maior resistência elétrica ($R = V^2/P$). Em um circuito série, a corrente elétrica é igual

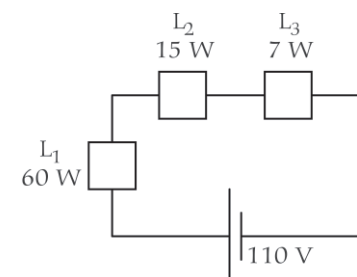


Figura 5 - Circuito série referente à Fig. 4.

para todos os resistores. Como $P = R \cdot i^2$, quanto maior a resistência, maior a potência e, conseqüentemente, maior a intensidade luminosa emitida pela lâmpada. É o oposto do que acontece na ligação paralela, onde lâmpadas de maior potência nominal emitem mais intensidade luminosa.

Tendo visto as ligações paralela e série, os alunos percebem que, mudando a forma de ligação das lâmpadas, a luz emitida por elas também muda. Mesmo com o estranhamento, os alunos concluem que, em uma ligação série, lâmpadas de maior potência nominal emitirão menor intensidade de luz. É um comportamento geral e válido para qualquer circuito série. Há, portanto, um comportamento previsível nas ligações paralela e série. O melhor está por vir.

Ligação mista

Na montagem da ligação mista, as lâmpadas devem ser encaixadas nas tomadas de modo aleatório, de preferência com a participação dos alunos. Com as lâmpadas conectadas, fica a expectativa: quais lâmpadas acenderão? Ao fechar o interruptor, verifica-se que nem todas acendem. É interessante trocá-las de posição algumas vezes para que os alunos percebam que não é possível fazer qualquer previsão confiável sobre quais delas acenderão. Em seguida, escolhe-se uma associação qualquer de lâmpadas sem ligar o interruptor. Diante da incerteza quanto ao funcionamento da nova associação, pode-se demonstrar que, aplicando a teoria dos circuitos elétricos à ligação escolhida, obtém-se uma previsão bastante razoável sobre quais lâmpadas acenderão. Para isso, basta determinar a potência dissipada em cada uma delas e compará-la ao seu valor nominal.

A seguir, serão apresentadas duas ligações mistas para evidenciar que, mesmo utilizando as mesmas lâmpadas, a emissão de luz pode mudar completamente se forem alteradas suas posições no circuito.

Primeira montagem com ligação mista

A primeira montagem com a ligação mista será feita conforme a Fig. 6.

O esquema elétrico da Fig. 6 é apresentado abaixo na Fig. 7 e deve ser mostrado aos alunos para a devida comparação entre o aparato experimental e a sua representação.

Resistência equivalente da ligação paralela das lâmpadas L_2 e L_3

$$R_{eq\ 2,3} = 400 \Omega.$$

Resistência equivalente da ligação paralela das lâmpadas L_4 e L_5

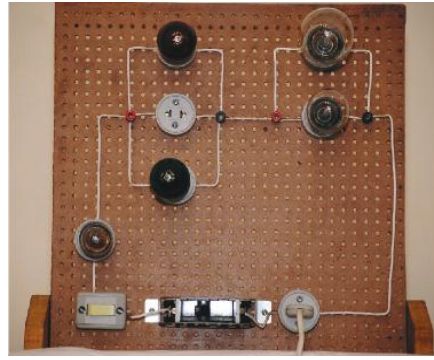


Figura 6 - Primeira montagem com ligação mista.

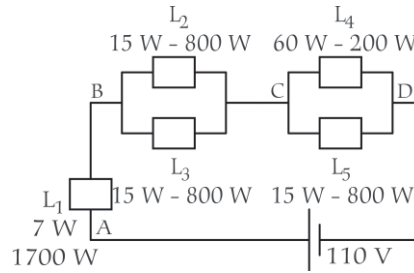


Figura 7 - Circuito misto referente à Fig. 6.

$$R_{eq\ 4,5} = \frac{200 \times 800}{200 + 800} = 160 \Omega$$

A resistência equivalente total do circuito será dada pela ligação série formada pela lâmpada L_1 , $R_{eq\ 2,3}$ e $R_{eq\ 4,5}$

$$R_{req} = 1700 + 400 + 160 = 2260 \Omega$$

Determinação da corrente elétrica na lâmpada L_1 .

$$i = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{110}{2260} \approx 49 \text{ mA.}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos B e C

$$V_{BC} = R \cdot i = 400 \times 0,049 = 19,6 \text{ V}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos C e D

$$V_{CD} = R \cdot i = 160 \times 0,049 = 7,8 \text{ V}$$

Determinação da potência nas lâmpadas:

$$L_1: P = r \cdot i^2 = 1700 \times (0,049)^2 = 4 \text{ W}$$

$$L_2 = L_3: P = V^2/R = 19,6^2/800 = 0,48 \text{ W}$$

$$L_4: P = V^2/R = 7,8^2/200 \approx 0,3 \text{ W}$$

$$L_5: P = V^2/R = 7,8^2/800 \approx 0,08 \text{ W}$$

Análise dos resultados e previsão das lâmpadas que acenderão

As lâmpadas L_2 , L_3 , L_4 e L_5 têm potências dissipadas previstas menores que 0,5 W. Este valor, comparado às potências nominais das referidas lâmpadas, é praticamente zero. Por isso, essas lâmpadas não acenderão. A lâmpada L_1 , de acordo com os cálculos, deverá dissipar uma potência de 4 W, cerca de 60% da potência nominal, portanto esta lâmpada acenderá. A comprovação das previsões é feita ao se ligar o circuito. Com o interruptor ligado, o resultado pode ser observado na Fig. 8.

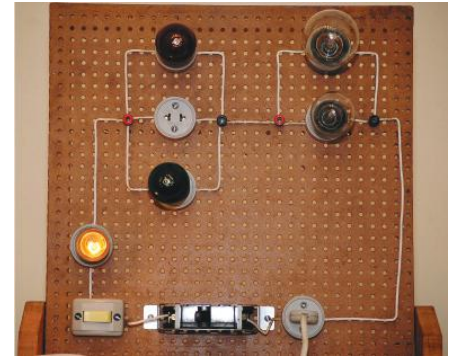


Figura 8 - Resultado para primeira montagem com ligação mista.

Segunda montagem com ligação mista

A segunda montagem é apresentada na Fig. 9. O esquema elétrico é mostrado na Fig. 10.

Determinação da resistência equivalente: a resistência equivalente da ligação paralela é

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{800} + \frac{1}{1700} + \frac{1}{800} \quad R_{eq\ 2,3,4} = 320 \Omega.$$

A resistência equivalente total do circuito será dada pela ligação série formada pela lâmpada L_1 , $R_{eq\ 2,3,4}$ e L_5 .

$$R_{req} = 200 + 320 + 800 = 1320 \Omega$$

Determinação da corrente elétrica nas lâmpadas L_1 e L_5 (que é a própria corrente no gerador)

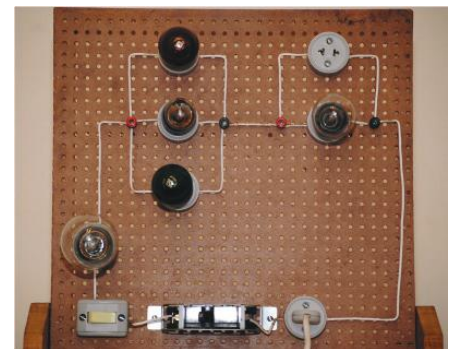


Figura 9 - Segunda montagem com ligação mista.

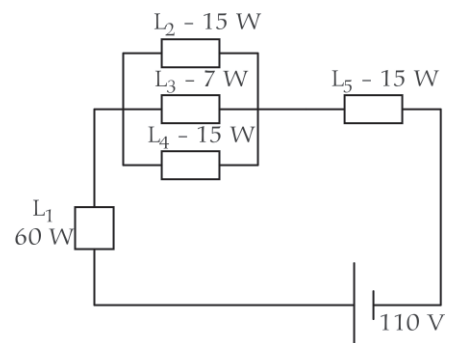


Figura 10 - Circuito elétrico referente à Fig. 9.

$$i = 110/1320 \approx 83 \text{ mA}$$

Determinação da d.d.p. entre os pontos B e C

$$V_{BC} = r \cdot i = 320 \cdot 0,083 = 26,6 \text{ V}$$

Potência dissipada nas lâmpadas

$$L_1: P_{60W} = r \cdot i^2 = 200 \cdot 0,083^2 = 1,4 \text{ W}$$

$$L_2 \text{ e } L_4: P_{15W} = V^2/R = 26,6^2/800 \approx 0,9 \text{ W}$$

$$L_3: P_{7W} = V^2/R = 26,6^2/1700 \approx 0,4 \text{ W}$$

$$L_5: P'_{15W} = r \cdot i^2 = 800 \cdot 0,083^2 = 5,5 \text{ W}$$

Análise dos resultados e previsão das lâmpadas que acenderão

A lâmpada L_1 não acenderá. A potência prevista para ser dissipada nessa lâmpada é cerca de 2% da sua potência nominal. As lâmpadas L_2 , L_3 e L_4 têm potência prevista de cerca de 6% da sua potência nominal. Este valor deixa dúvida sobre a lâmpada não acender ou ser possível perceber apenas o filamento enrubescido. Essa margem de erro não compromete o experimento, cria inclusive uma expectativa saudável na turma sobre o resultado do mesmo. A lâmpada L_5 certamente acenderá, pois a potência dissipada prevista é cerca de 35% da sua potência nominal. O resultado é apresentado na Fig. 11.

Avaliação, desafios e diversão

Como forma de avaliação da aula, é

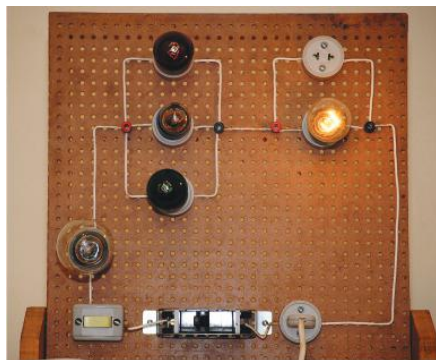


Figura 11 – Resultado para segunda montagem com ligação mista.

possível trocar as lâmpadas de posição e pedir aos alunos que determinem quais delas acenderão. Quando os alunos terminarem os cálculos, o professor pode fazer uma consulta prévia à turma sobre suas expectativas de funcionamento antes de ligar o interruptor. Havendo qualquer discrepância entre o resultado teórico e o experimental, o professor poderá analisar e discutir com os alunos eventuais falhas cometidas nos cálculos.

Considerações finais

A montagem inicial com o circuito paralelo serve para o aluno confirmar seu conceito sobre potência dos resistores, comparando à intensidade da luz emitida. No circuito série a lógica se inverte: a lâmpada de maior potência nominal emite menor intensidade de luz. É o momento de o professor lembrar que as lâmpadas incandescentes vendidas no comércio foram projetadas para dissiparem a potência nominal quando submetidas a d.d.p. especificada (110 V ou 220 V) no bulbo da lâmpada. Na ligação série, a d.d.p. aplicada a um resistor depende da resistência equivalente do circuito e da corrente elétrica. Por isso, a intensidade de luz emitida por uma lâmpada ligada em série depende das demais lâmpadas do circuito.

A ligação mista é completamente imprevisível, o que torna a atividade experimental um verdadeiro desafio: descobrir quais lâmpadas acenderão. Esse desafio será vencido por aqueles que dominarem os conteúdos de eletricidade.

Não há margens estabelecidas sobre o percentual do valor nominal da lâmpada para determinar se ela acenderá ou não. A incerteza faz parte da previsão e deve ser discutida com os alunos, até porque o modelo teórico utilizado desconsidera algumas variáveis, como: a variação da resistência elétrica das lâmpadas com a

temperatura, a correspondente variação da d.d.p. aplicada às lâmpadas e a consequente variação da intensidade luminosa emitida. Esses fatores podem provocar pequenas discrepâncias entre a previsão teórica e o resultado experimental.

Notas

¹A previsão da intensidade luminosa restringir-se-á à comparação entre a luminosidade emitida pelas lâmpadas, estabelecendo qual(ais) acende(m) mais forte, mais fraco e, eventualmente, qual(ais) não acende(m).

²Potência nominal é a potência estabelecida pelo fabricante e apresentada no bulbo da lâmpada.

³Uma alternativa é apresentar, durante as aulas teóricas sobre cada uma das associações de resistores, a respectiva atividade experimental com a correspondente ligação das lâmpadas. Sugiro, neste caso, a sequência de aulas sobre: associação paralela, associação série e associação mista. A justificativa para essa sequência é apresentada ao logo do texto.

⁴No experimento, lâmpadas de 60 W, 15 W e 7 W.

⁵Os cálculos apresentados considerarão a tensão na tomada de 110 V. Não será considerada a variação da resistência elétrica das lâmpadas incandescentes com a temperatura.

Para saber mais

- D. Gonçalves, *Física: Eletricidade, Eletromagnetismo e Corrente Alternada* (Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1978) 3ª ed.
- B. Alvarenga e A. Máximo, *Curso de Física* (Editora Scipione, São Paulo, 1997), 4ª ed.
- D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics Extended* (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997), 5th ed.

Perguntas do Editor

- Queremos determinar a pressão dentro de uma bola de futebol usando apenas uma balança sensível e uma régua. Como fazê-lo?
- Você tem dois pêndulos, e conhece o período de oscilação de um deles. Qual a maneira mais simples de descobrir o período do outro pêndulo?
- Como você pode, em um dia de sol, descobrir a altura de uma árvore usando apenas uma régua? Obviamente não vale subir na árvore...



Utilizando a câmera fotográfica digital como ferramenta para distinguir as cores das estrelas

.....

Guilherme F. Marranghello

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS, Brasil
E-mail: gfmarranghello@gmail.com

Daniela B. Pavani

Departamento de Astronomia, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: dpavani@if.ufrgs.br

.....

A poluição luminosa das grandes cidades nos impede de admirarmos toda a beleza do céu noturno e percebermos, por exemplo, que as estrelas possuem cores distintas. À primeira vista todas as estrelas nos parecem pontos cintilantes esbranquiçados, mas sob olhar mais atento, longe das luzes artificiais, podemos identificar também tons azulados, avermelhados ou amarelados. A cor de uma estrela está relacionada à temperatura da sua camada mais externa, a fotosfera (temperatura superficial), que captamos a olho nú ou através de telescópios e binóculos. Através do estudo da luz que chega das estrelas, os astrônomos podem entender melhor sua formação e evolução, bem como das estruturas maiores formadas por elas, como aglomerados estelares e galáxias. A cor de uma estrela, então, nos dá informações sobre suas propriedades físicas. Assim podemos, sob um novo olhar, realizar atividades de observação noturna dos astros, explorando, além dos conceitos tradicionais de astronomia, como localização temporal e espacial, conceitos de física moderna associados às propriedades da luz trabalhando com a lei da radiação de Planck para o corpo negro.

Neste trabalho propomos o uso de uma máquina fotográfica digital para registrar imagens de duas constelações e, utilizando ferramentas gráficas simples, associar a cor das estrelas fotografadas à lei da radiação de Planck, estimando, de forma aproximada, a temperatura das estrelas que compõem tais constelações. Devemos deixar claro, neste momento do trabalho, que a estimativa da temperatura das estrelas é feita apenas de forma aproximada e não pretende-se determinar com exatidão este valor. O objetivo é discutir

como um tópico da astronomia - a relação entre cor e temperatura das estrelas - pode ser utilizado como tema gerador de tópicos de física moderna no Ensino Médio.

Diferentes povos em diferentes épocas utilizaram as estrelas e sua posição no céu para marcar a passagem do tempo, das estações do ano e para homenagear animais, heróis e deuses. Assim surgiram as constelações, conjuntos de estrelas que aparentam estar próximas entre si, mas que não necessariamente estão fisicamente relacionadas. Atualmente, a União Astronômica Internacional define 88 regiões do céu que distinguem as constelações. Uma vez que as constelações são reconhecidas como áreas do céu, estas são compostas não apenas pelas estrelas mais brilhantes, que formam uma figura imaginária, mas também por todos os objetos celestes contidos naquela região, incluindo uma quantidade gigantesca de estrelas que não são visíveis a olho nú, além de galáxias e nebulosas, por exemplo.

Escolhemos para explorarmos as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião, observando através de uma máquina digital fotográfica, a relação entre cor e temperatura nas estrelas. Nestas constelações encontramos estrelas azuis e vermelhas.

Além disso, a primeira delas é usualmente empregada para localização dos pontos cardeais, também compondo a bandeira nacional. A constelação do Cruzeiro do Sul ainda é especialmente útil porque sua

estrela mais brilhante, Acrux (ou Alpha Crux), pode ser vista durante todo ano nas latitudes próximas à de Porto Alegre. Nessas latitudes esta estrela, por estar sempre acima do horizonte, é denominada circumpolar. Na latitude de São Paulo, por exemplo, toda a constelação é visível na

À primeira vista todas as estrelas nos parecem pontos cintilantes esbranquiçados, mas sob olhar mais atento, longe das luzes artificiais, podemos identificar também tons azulados, avermelhados ou amarelados

Apresenta-se uma forma simples e divertida de identificar as diferentes cores das estrelas utilizando uma máquina fotográfica digital e as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião. Após fotografadas, é possível identificar as distintas cores destas estrelas e, utilizando um padrão de cores e temperaturas, estimar a temperatura aproximada de cada estrela. Através desta atividade o professor pode introduzir assuntos de física moderna e astronomia, como a lei da radiação de Planck para o corpo negro e o diagrama Hertzsprung-Russel.

primeira parte da noite (antes das 24 h) durante os meses de janeiro a julho. Já em Belém do Pará, isto ocorre no período de janeiro a junho. A constelação de Escorpião é visível, no hemisfério sul, durante todas as noites de junho, sendo assim uma constelação característica do inverno. Em especial, a constelação de Escorpião foi escolhida pela presença de Antares (o coração do Escorpião), que possui uma cor avermelhada.

Também vale a pena destacar que as estrelas que constituem as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião não estão necessariamente próximas uma das outras. O leitor pode encontrar mais detalhes sobre o Cruzeiro do Sul na Ref. [1], onde o autor representa a constelação em uma maquete construída em três dimensões, incluindo a distância das principais estrelas da constelação à Terra, tornando possível a visualização da estrutura de uma constelação.

As estrelas

As estrelas não são todas iguais: possuem diferentes tamanhos e massas e, em consequência disto, distintas temperaturas. No nosso cotidiano podemos pensar em quente e frio como sendo um quente dia de verão, 40 °C, ou um frio dia de inverno, próximo a 0 °C. Entretanto, quando falamos de estrelas, “frio” significa temperatura superficial da ordem de 2000 a 3000 K, umas 10 ou 15 vezes mais quente do que o forno de nossa casa. Nas camadas mais externas das estrelas estes valores podem chegar a 40.000 K. Assim, no que diz respeito às estrelas, mesmo com estas altíssimas temperaturas, podemos dizer que algumas são mais frias e outras mais quentes.

Estrelas de menor massa são relativamente mais frias e possuem cores avermelhadas. As de maior massa são mais quentes e azuladas. O Sol é uma estrela amarelada, de temperatura intermediária, próxima a 6000 K. Dizer que as estrelas vermelhas são mais frias que as azuis pode ir contra nossa intuição, mas não é somente nas estrelas que esta relação de temperatura e cor ocorre. Se aquecermos uma lâmina de ferro, veremos que inicialmente ela terá um tom avermelhado, tornando-se em seguida mais esbranquiçado. Uma lâmina incandescente, ao atingir temperaturas mais elevadas, fica mais clara. No que diz respeito a luz, a cor vermelha corresponde ao comprimento de onda de luz visível menos energético (menor temperatura), e o violeta, ao mais energético (maior temperatura). A lâmina de ferro aumenta sua temperatura ao ser aquecida; já em uma estrela, a temperatura está

relacionada à massa, ao tamanho e aos processos de fusão nuclear que ocorrem em seu interior. A cor de uma estrela está relacionada com a temperatura da camada mais superficial, a fotosfera estelar. Embora lâminas de ferro e estrelas sejam objetos totalmente distintos, através deles podemos verificar como cores e temperaturas estão associadas.

Ao olharmos a luz que vem de uma estrela através de um espectroscópio¹ vemos linhas (ou raios espectrais), escuras e com determinados espaçamentos. Estas linhas são produzidas pela presença de determinados elementos químicos nas camadas mais

externas das estrelas. As distribuições de linhas nos espectros correspondem a impressões digitais de cada elemento químico. Mas entender como a matéria se organiza por meio dos átomos, e quais as suas propriedades expressas (como na Tabela Periódica dos elementos), foi um grande desafio para a física moderna. Através de diferentes estudos, empreendidos por diferentes pesquisadores, que ora se complementavam, ora se contrapunham, passamos a ter uma nova compreensão do átomo e suas partículas constituintes.

Em 1913, Niels Bohr apresentou um modelo atômico onde os elétrons se moviam em órbitas estáveis, sem emitir radiação. Apenas quando o elétron trocava de órbita, um fóton era emitido ou absor-

vido, carregando junto uma quantidade bem determinada de energia. Cada átomo apresenta um conjunto único de órbitas eletrônicas, como se fossem as impressões digitais destes elementos e a energia emitida através de um fóton, quando o elétron passa de uma órbita de maior energia para outra de menor energia, é exatamente o valor da diferença de energia entre estas órbitas. A Fig. 1a mostra os níveis de energia do átomo de hidrogênio e as linhas de emissão para a transição de diferentes níveis energéticos, enquanto a Fig. 1b mostra o espectro para diferentes elementos contidos em uma estrela.

Ainda resta uma pergunta: como as órbitas representadas na Fig. 1a deixam suas marcas no espectro mostrado na Fig. 1b? A resposta vem através da lei de Kirchhoff. Quando a luz emitida por uma fonte sólida, como uma lâmpada incandescente, atravessa um prisma, ela é decomposta nas cores do espectro visível, de forma similar ao que ocorre na formação do arco-íris, quando a luz do Sol incide em gotículas de água presentes na atmosfera. A ilustração superior da Fig. 2 é uma representação desta decomposição do espectro. Quando a luz é emitida por uma fonte gasosa, como uma lâmpada fluorescente, apenas as transições dos níveis atômicos do elementos gasosos são excitados, aparecendo um conjunto discreto de linhas, conforme mostra a ilustração

de linhas, conforme mostra a ilustração

As estrelas não são todas iguais: possuem diferentes tamanhos e massas e, em consequência disto, distintas temperaturas. As de menor massa são relativamente mais frias e possuem cores avermelhadas. As de maior massa são mais quentes e azuladas

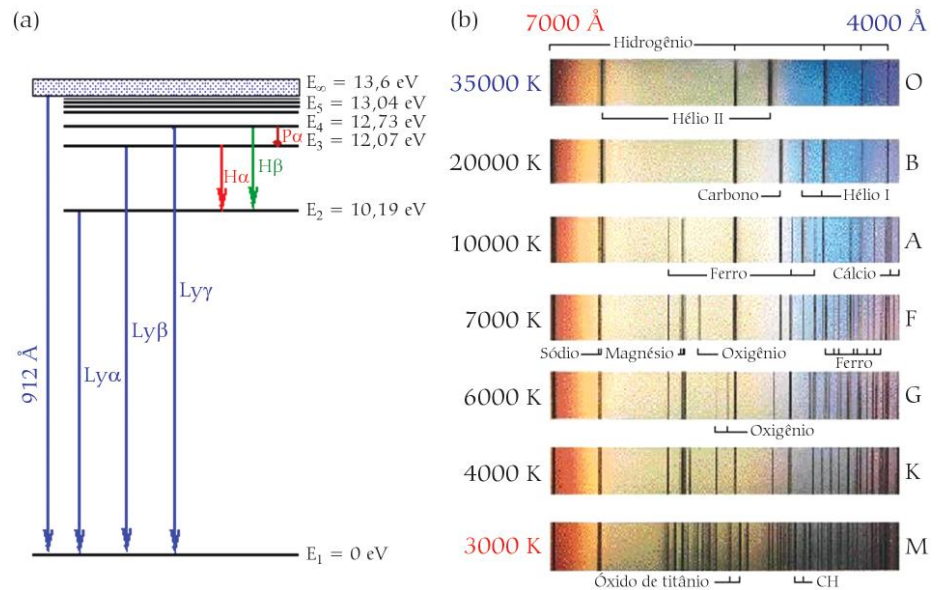


Figura 1 - (a) Níveis de energia para o átomo de hidrogênio e as transições atômicas. (b) Espectros de estrelas, destacando os elementos presentes em suas fotosferas. Fonte: Ref. [2].

do meio da Fig. 2. Perceba como que as linhas são coloridas. Ainda é possível emitir luz através de uma fonte incandescente e fazê-la atravessar um gás frio antes de passar pelo prisma. Neste caso, o gás absorverá a radiação que corresponde àquelas linhas que ele emitiria caso fosse aquecido. A ilustração inferior da Fig. 2 mostra tal comportamento, onde as linhas agora são escuras. Isto é o que ocorre nas estrelas, que produzem energia no seu interior, emitindo uma luz branca que, ao atravessar a fotosfera, tem linhas suprimidas (ou absorvidas) de seu espectro.

Os tipos espectrais² estelares são baseados nas linhas de absorção que encontramos em cada espectro e, portanto, refletem a composição química da estrela. Mas as classes espectrais estão fortemente associadas à temperatura das estrelas, então temperatura, cor e linhas visíveis no espectro estelar são propriedades que estão, de uma forma ou de outra, correlacionadas. Algumas estrelas têm, por exemplo, fortes linhas espectrais associadas ao elemento hidrogênio (classes A e F). Outras possuem linhas de hidrogênio fracas, mas fortes linhas de cálcio e magnésio (tipos G e K). Estrelas do tipo O são quentes, as de tipo M, são frias. As classes ainda estão divididas em subclasses como, por exemplo, nosso Sol, que é uma estrela do tipo G2, enquanto Sírius, que é uma estrela mais quente e com tonalidade branco azulada, é do tipo B3. A estrela Antares, a mais brilhante (e por isso denominada alfa - α) das estrelas pertencentes à constelação do Escorpião, é vermelha. Mais detalhes sobre a classificação das estrelas pode ser encontrado na Ref. [2]. Assim, podemos classificar as estrelas conforme mostra a Tabela 1.

Uma ferramenta importante na astronomia é o que conhecemos por diagrama HR, que corresponde a um gráfico onde se comparam as propriedades de grupos de estrelas e onde podemos visualizar a correlação entre diferentes parâmetros estelares, como temperatura, cor e luminosidade. O diagrama HR foi construído pela primeira vez, de forma independente, por dois astrônomos no início do século XX. O dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967) descobriu que a largura das linhas espectrais eram correlacionadas com o brilho intrínseco (luminosidade) das estrelas: as estrelas mais luminosas possuíam linhas mais estreitas. Deduz-se que as diferenças na largura das linhas espectrais são causadas pelas diferenças nos raios estelares, pois a luminosidade L de uma estrela é diretamente proporcional ao seu raio ($L \propto R^2$). O americano Henry Norris Russell (1877-1957)

Tabela 1 - Classificação das estrelas em função decrescente da temperatura.

O	$20.000 \leq K \leq T_{ef} 40.000 \text{ K}$	linhas de Hell (hélio uma vez ionizado) e ultravioleta forte	Mintaka (δ Ori, uma das Três Marias)
B	$T_{ef} \approx 15\ 000 \text{ K}$	linhas de Hel	Rigel (β Ori) e Spica (α Vir)
A	$T_{ef} \approx 9000 \text{ K}$	linhas de HI forte	Sírius (α Can Maj) e Vega (α Lyr)
F	$T_{ef} \approx 7000 \text{ K}$	linhas de metais observadas	Canopus (α Car) e Procyon (α Can Min)
G	$T_{ef} \approx 5500 \text{ K}$	fortes linhas de metais e HI fraco, CaI (H e K) fortes	Sol e Capela (α Aur)
K	$T_{ef} \approx 4000 \text{ K}$	linhas metálicas dominantes, contínuo azul fraco	Aldebarã (α Tau) e Arcturus (α Boo)
M	$T_{ef} \approx 3000 \text{ K}$	com bandas moleculares (TiO) muito fortes	Betelgeuse (α Ori) e Antares (α Sco)

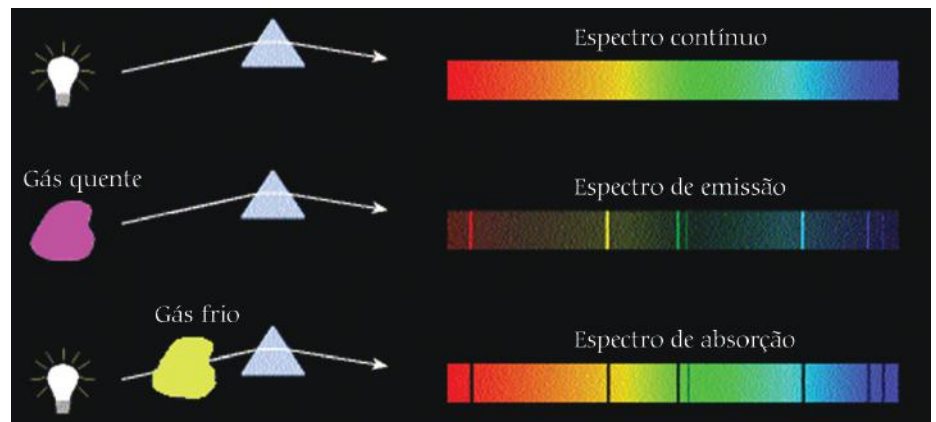


Figura 2 - Lei de Kirchhoff para o espectro de emissão e absorção. Fonte: Ref. [2].

chegou a um resultado semelhante, encontrando que a magnitude absoluta de uma estrela (diretamente ligada à luminosidade) é bem correlacionada com o tipo spectral. Desta forma, o diagrama HR apresenta no eixo vertical a luminosidade (ou magnitude) e no eixo horizontal a temperatura (ou tipo spectral, ou cor). A escala de temperatura é invertida, temperaturas maiores ficam à esquerda e menores à direita (Fig. 3). Como podemos dessa figura, estrelas podem ter a mesma cor, mas luminosidades distintas. Assim estabeleceu-se classes de luminosidade, as mais luminosas são chamadas de gigantes ou supergigantes, e as menos luminosas de anãs. Uma descrição mais detalhada do diagrama HR e suas propriedades pode ser obtida no já citado hipertexto da Ref. [2]. Tais diferenças entre as estrelas são características de seu

Os tipos espectrais estelares são baseados nas linhas de absorção que encontramos em cada espectro e, portanto, refletem a composição química da estrela. Mas as classes espectrais estão fortemente associadas à temperatura das estrelas, então temperatura, cor e linhas visíveis no espectro estelar são propriedades que estão, de uma forma ou de outra, correlacionadas

estágio de evolução. As estrelas que se encontram na sequência principal são estrelas que estão na fase inicial de sua vida, gerando energia em seu interior através da fusão nuclear do hidrogênio, formando um novo elemento no interior estelar, o hélio. A evolução de uma estrela depende principalmente de sua massa. Estrelas menos maciças passarão por um processo de queima do hélio de forma explosiva, a localização destas estrelas no diagrama HR é no ramo das gigantes, enquanto as estrelas mais maciças queimam o hélio de forma mais lenta, levando as estrelas para o ramo das supergigantes. Em ambos os casos as estrelas passam a transformar o hélio em carbono. Na Fig. 3 ainda podemos identificar uma faixa que corresponde às anãs brancas, um tipo de estrela que passou por um processo onde a maior parte da estrela que a formou foi ejetado, restando apenas um

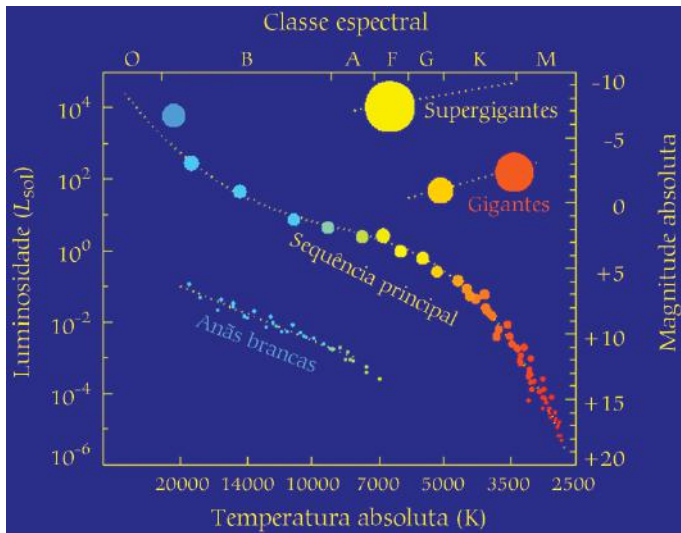


Figura 3 - Diagrama Hertzsprung-Russell (HR). Fonte: Ref. [2].

caroço com uma massa aproximada à massa do Sol. Vários processos podem levar à formação de uma anã branca, seja através de nebulosas planetárias ou de estrelas binárias interagentes.

Radiação de corpo negro

A mecânica quântica nasceu entre os anos de 1900 e 1920, quando a ciência atingiu um nível de avanço tecnológico que permitiu aos cientistas investigar o comportamento de partículas minúsculas. Uma das primeiras contribuições ao desenvolvimento da mecânica quântica foi feita pelo físico alemão Max Planck: em 1900, ele propôs que corpos aquecidos emitissem energia em quantidades bem definidas, denominadas por ele de *quanta*. Quando um corpo emite luz ao ser aquecido, estamos nos referindo ao processo de incandescência. Em uma lâmpada incandescente, um filamento de tungstênio é aquecido e emite luz. Lord Rayleigh (John William Strutt, 1842-1919) e Jeans (James Hopwood Jeans, 1877-1946) já haviam tentado descrever a radiação emitida por um corpo aquecido, utilizando o que hoje chamamos de teoria clássica, onde os efeitos da mecânica quântica não são considerados. Apesar de obterem resultados razoavelmente bons em uma faixa do espectro de radiação, a teoria falhava na tentativa de explicar o comportamento da radiação emitida por um corpo aquecido ao considerarmos altas frequências. Na tentativa de conciliar os resultados para altas frequências e a lei de Rayleigh-Jeans, Max Planck introduziu o conceito de quantização da energia e a constante que acabou por levar seu nome. O conceito de que a energia não poderia ser emitida em qualquer quantidade, mas apenas em valores bem definidos, parecia tão

absurdo na época que até mesmo Planck, ao introduzi-lo para corrigir as curvas de intensidade de radiação, definiu-o como um “ato de desespero”. O fato é que a lei de Planck para a radiação de corpo negro tornou-se um marco fundamental na elaboração da mecânica quântica, rendendo a seu autor o prêmio Nobel de Física de 1918. A lei da radiação de Planck nos fornece a intensidade da ra-

dição $I(\nu, T)$ como função da temperatura T e da frequência ν

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1},$$

onde h é a constante de Planck, k é a constante de Boltzmann e c é a velocidade da luz.

Mas o que é um corpo negro? Um corpo negro é um meio ou substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele, e emite toda radiação produzida em seu interior. A radiação emitida por um corpo negro independe da constituição e forma do mesmo, dependendo somente da temperatura do corpo e do comprimento de onda da radiação emitida. Na natureza não existe um corpo que se enquadre totalmente nesta definição, mas as estrelas se constituem em uma boa

O conceito de que a energia não poderia ser emitida em qualquer quantidade, mas apenas em valores bem definidos, parecia tão absurdo na época que até mesmo Planck, ao introduzi-lo para corrigir as curvas de intensidade de radiação, definiu-o como um “ato de desespero”

aproximação. A lei de Planck nos fornece, então, uma relação entre a intensidade da radiação emitida por um corpo negro, a sua temperatura e o comprimento de onda desta radiação. A Fig. 4 mostra a intensidade da radiação emitida em função do comprimento de onda, de acordo com a lei de Planck. A intensidade é indicada pelo pico da curva nos gráficos, o comprimento de onda (λ) está indicado no eixo horizontal superior. O painel à esquerda ilustra as propriedades da radiação emitida por um corpo cuja temperatura é de 10.000 K. A figura mostra uma relação entre a intensidade da radiação e a cor que percebemos de um corpo aquecido. O pico da curva corresponde à maior intensidade de radiação. Neste painel vemos que o máximo de radiação está no violeta e ultravioleta, nos fazendo perceber o objeto com a cor violeta. O painel à direita representa o comportamento da radiação para um corpo com $T = 5.000$ K. O máximo da intensidade de radiação corresponde ao comprimento de onda associado à luz verde, fazendo com que o percebamos verde. Para cada comprimento de onda, a curva atinge um máximo em intensidade que está associado a uma temperatura característica, que corresponde a uma cor.

Quanto maior a temperatura, maior a intensidade de luz emitida, como indicado na Fig. 5.

Assim como qualquer outra lei da física, a lei de Planck pode ser aplicada em estudos realizados dentro de laboratórios

na Terra e também no espaço, sendo válida por todo o Universo. A aplicação de leis físicas que podemos evidenciar tanto em eventos terrestres como em eventos no espaço facilitam ao aluno perceber que as

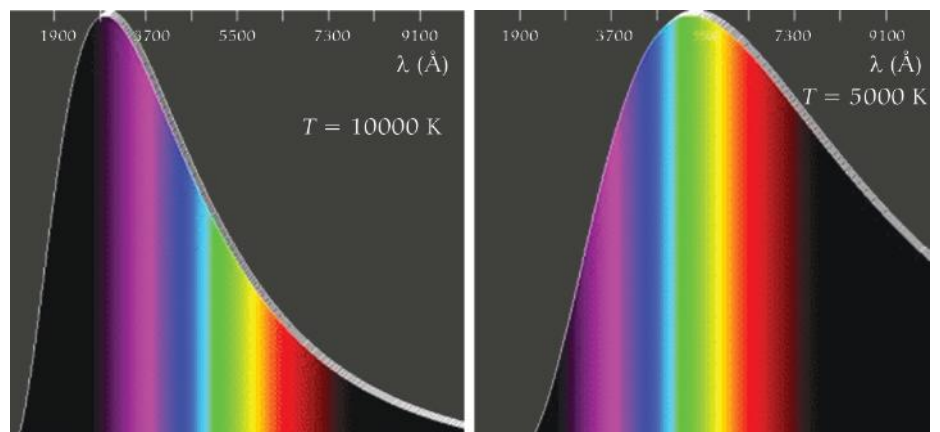


Figura 4 - Relação entre temperatura, intensidade de radiação e comprimento de onda, segundo a lei da radiação de Planck para $T = 10.000$ K e 5.000 K [1].

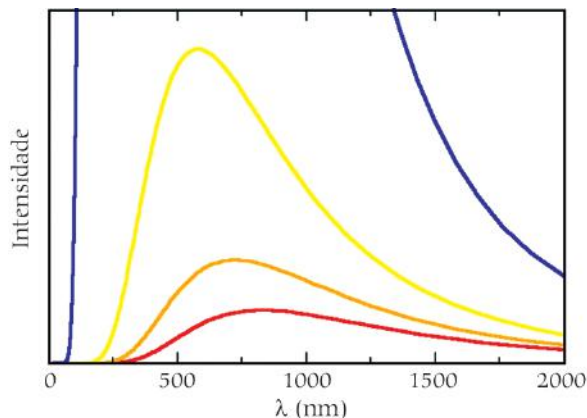


Figura 5 - Lei de Planck para as temperaturas $T = 3.500$ K (linha vermelha), $T = 4.000$ K (linha laranja), $T = 5.000$ K (linha amarela) e $T = 10.000$ K (linha azul).

leis da física são universalmente válidas e não, como se acreditava há poucos séculos (e como ainda faz parte de percepções alternativas do mundo), que uma lei válida para uma estrela distante não possa ter validade no dia-a-dia de um estudante ou dentro de um laboratório de alta tecnologia. A partir da cor observada de uma estrela, associamos o comprimento de onda que mais contribui para a radiação emitida e, através da lei de Planck ou, de forma mais direta, da lei de Wien

$$\lambda_{max} \times T = 2897,6 \mu\text{m} \times \text{K},$$

A partir dela obtemos a temperatura superficial aproximada da estrela. Por exemplo, usando-a podemos recuperar as informações que estão na Fig. 5. Nela vemos que o máximo em intensidade da curva em vermelho corresponde a um comprimento de onda de aproximadamente $\lambda = 750$ nm, o que irá corresponder a uma temperatura de

$$T = \frac{2897,6 \mu\text{m} \text{ K}}{\lambda_{max}} = 3863,5 \text{ K}.$$

De acordo com a Tabela 1, esta temperatura corresponde a uma estrela vermelho-alaranjada. Podemos confirmar o resultado obtido o utilizando o próprio diagrama HR.

Metodologia

Utilizamos uma máquina fotográfica digital (Panasonic Lumix DMC-FS12), com 12 Megapixels de resolução, apoiada sobre um tripé, fazendo fotografias com exposição de 15 s. As fotografias foram feitas utilizando o modo pré-formatado *starry night*. A máquina fotográfica digital funciona de forma semelhante à máquina analógica, quando um grupo de lentes produz uma imagem real e invertida do objeto que se deseja fotografar. A diferença está no detector, um filme foto-

gráfico, no caso da câmera analógica e, atualmente, um detector conhecido como CCD, sobre o qual falaremos mais adiante, no caso do equipamento digital. Em ambos os casos é possível regular o diafragma da máquina, objeto responsável por controlar a quantidade de luz que entra na câmera. Para fotografar um objeto em ambientes muito escuros, como estrelas no céu, devemos nos afastar de regiões luminosas como postes de iluminação, sob pena da luz do poste ofuscar o brilho das estrelas. Também devemos controlar o dia-

fragma de modo a permitir que uma maior quantidade de luz entre na câmera. Podemos fazer isto de duas formas: i) aumentando a abertura do diafragma, e ii) aumentando o tempo de exposição da fotografia, ou seja, o tempo em que o diafragma ficará aberto (podemos nos referir aqui à velocidade do obturador). Mais informações sobre como produzir fotografias do céu noturno e atividades interessantes desenvolvidas através de fotografias podem ser encontradas em Ourique e cols. [3] ou em Neves e Pereira [4].

Como mencionado anteriormente, escolhemos as constelações do Cruzeiro do Sul e do Escorpião por serem facilmente identificadas no céu e por apresentarem estrelas com as mais diversas características. O Cruzeiro do Sul apresenta estrelas do tipo espectral B1, Acrux e Mimosa, que resultam em cores mais azuladas, e Gamma Crucis, do tipo M4 e cor mais avermelhada. O Escorpião se destaca por Antares, que pode ser facilmente identificada a

olho nú e percebida com uma cor avermelhada. Estas estrelas aparecem na Fig. 6.

O programa de computador Stellarium pode ser utilizado como apoio nestas atividades, seja na forma de localização das constelações, seja na identificação de propriedades dos objetos escolhidos. Este programa está disponível de forma gratuita³ para diferentes plataformas computacionais e em diferentes idiomas. Ele permite ao usuário definir sua localização, data e horário da observação a ser feita. Ainda é possível definir a quantidade de poluição luminosa, ou seja, a magnitude dos objetos que podem ser observados, além de marcar as constelações, nomeando-as e ligando as estrelas mais brilhantes com traços, facilitando a sua identificação no céu. Ao selecionar um objeto ainda é possível obter diversas informações, como nome, tipo de objeto e magnitude. Diferentes abordagens para o uso deste programa ainda podem ser encontradas na literatura como, por exemplo, na Ref. [5], possibilitando trabalhar o movimento aparente dos astros, estações do ano e outras atividades.

Uma vez realizada a fotografia, que engloba toda a constelação do Escorpião (Fig. 7a), a imagem de cada estrela individual é aproximada (Figs. 7b e 7c). O mesmo procedimento é adotado para a constelação do Cruzeiro do Sul (Figs. 8a-8d). Cabe salientar que, apesar de um tempo de exposição maior que 15 s coletar mais luz no detector da câmera, tempos longos produzirão imagens mais alongadas das estrelas, devido ao movimento de rotação da Terra.

Mostramos a seguir as fotografias das constelações do Escorpião e do Cruzeiro do Sul, detalhando as estrelas δ -

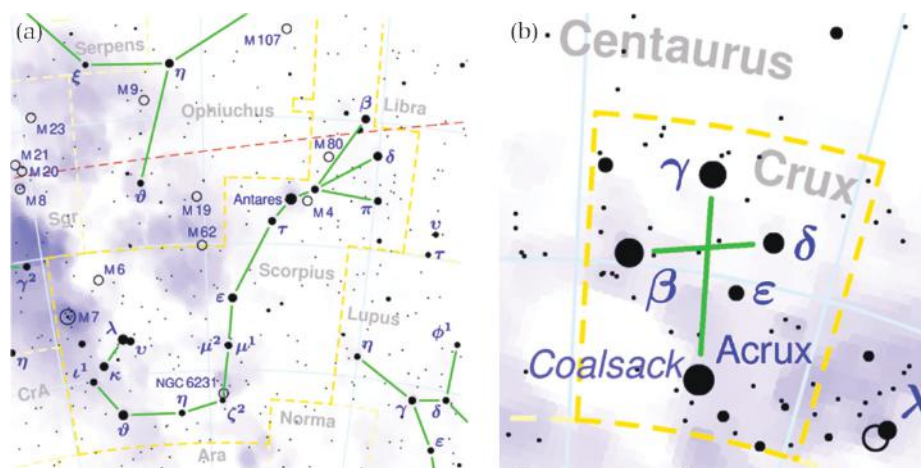


Figura 6 - Constelações do (a) Escorpião e (b) Cruzeiro do Sul. Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Constelações>.

scorpii (Delta-scorpii), Antares, α -Cru (Alfa-Cru) ou também conhecida como Estrela de Magalhães, β -Cru (Beta-Cru), também chamada de Mimosa e γ -Cru (Gama-Cru), ou Gacrux, ampliadas utilizando o programa Gimp.⁴ Salientamos que qualquer editor de imagem simples pode ser utilizado e que o procedimento é bastante similar; basta apenas aproximar a imagem de cada estrela até a imagem onde a cor da estrela esteja mais facilmente identificável, podendo ser comparada com a tabela de cores e temperaturas.

As cores de cada estrela ficam mais facilmente identificadas e podemos comparar as propriedades de cada uma através da Tabela 1, relacionando a cor com a temperatura aproximada. Na sequência, é possível confirmar o resultado da comparação com as propriedades de cada estrela apresentadas na Tabela 2. Nesta tabela são informadas a classe espectral, diâmetro ($2R_{\text{sol}} = 1,4 \times 10^9$ m), distância à Terra ($1 \text{ pc} = 3,08 \times 10^{16}$ m), luminosidade ($1 L_{\text{sol}} = 3,8 \times 10^{23}$ W), massa ($1 M_{\text{sol}} =$

$1,99 \times 10^{30}$ kg), temperatura e cor.

Fazendo uma comparação entre as cores e temperaturas dispostas nas Tabelas 1 e 2 e as cores das estrelas destacadas, é possível identificar a temperatura superficial das estrelas. Antares pode ser identificada com uma temperatura próxima à sua temperatura de 3500 K. Para δ -scorpii é possível apenas identificar a temperatura como sendo superior a 15.000 K. Também é possível identificar que α e β Cru são estrelas extremamente quentes, com temperaturas ao redor de dezenas de milhares de Kelvin, enquanto δ -Cru possui uma temperatura bem mais baixa. A relação entre as cores das estrelas e suas temperaturas pode ser feita de maneira aproximada comparando as cores das fotografias com aquelas apresentadas no diagrama HR da Fig. 3. Uma vez identificada a cor da estrela, comparando a fotografia da estrela com a Tabela 1, associamos o comprimento de onda correspondente àquela cor, conforme a Tabela 3.

Cabe ressaltar que, apesar de apresen-

tarmos uma proposta que seja simples e facilmente implementada em sala de aula, quando realizamos estudos mais precisos em astronomia, determinamos o quanto uma estrela é mais azul ou mais vermelha do que outra sem depender somente da sensibilidade de nossos olhos. O olho humano, à luz do dia, tem sensibilidade maior à cor verde (cujo comprimento de onda fica em torno de $\lambda = 550$ nm). Sob pouca luminosidade, a maior sensibilidade muda para algo em torno de $\lambda = 500$ nm. Por isso os astrônomos, quando observam as estrelas, registram a imagem utilizando filtros especiais, que permitem a passagem de determinados comprimentos de onda. Por exemplo, um filtro B permite a passagem dos comprimentos de onda mais próximos do azul; um filtro U permite a passagem do ultravioleta; já um filtro V deixará passar comprimentos de onda do amarelo, conforme mostra a Fig. 9. A Tabela 2 apresenta os índices de cor U-B e B-V, fornecidos por catálogos estelares. Estes índices indicam que a magnitude (luminosidade) da estrela obtida com o filtro U

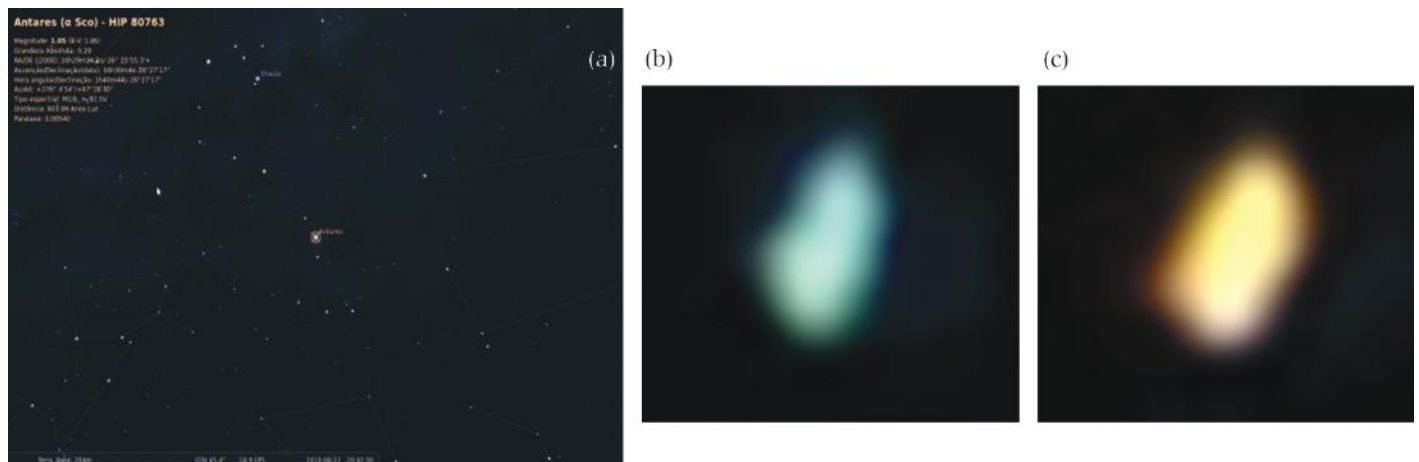


Figura 7 - (a) Imagem da constelação do Escorpião obtida como captura de tela do Stellarium. Fotos das estrelas da constelação de Escorpião, aproximadas através de aumento digital de uma fotografia da constelação: (b) Delta Scorpii, (c) Antares.

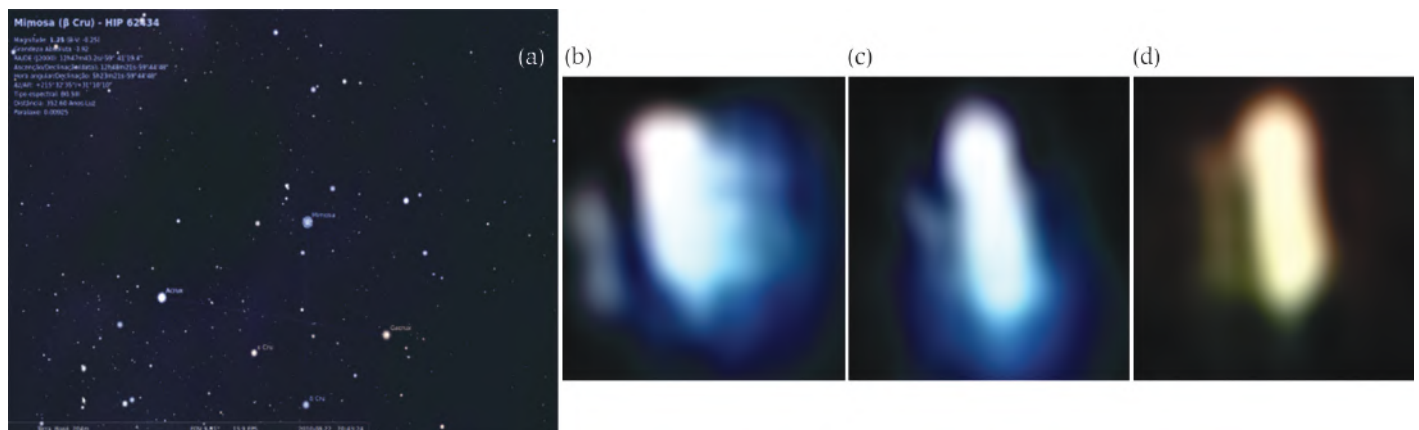


Figura 8 - (a) Imagem da constelação do Cruzeiro do Sul obtida como captura de tela do Stellarium. Fotos das estrelas da constelação do Cruzeiro do Sul, aproximadas através de aumento digital de uma fotografia da constelação: (b) α -Cru, (c) β -Cru e (d) δ -Cru.

Tabela 2 - Propriedades das estrelas observadas.

Nome	Classe/ tipo espectral	Diâmetro ($2R_{\text{sol}}$)	Distância (pc)	Luminosidade (L_{sol})	Massa (M_{sol})	Temperatura (K)	Cor
Escorpião Delta Scorpil (Dschubba)	Subgigante B0	5 a 6	123	14 000	6 a 12	28 000	U-B = -0,91, B-V = -0,12
Antares	Supegigante M1	800	150	10 000 a 90 000	15 a 18	3500	U-B = 1,34, B-V = 1,87
Cruzeiro do Sul							
Alpha Crux	Subgigante B1	-	100	7000 a 25 000	10 a 14	30 000	U-B = -1,03, B-V = -0,24
Beta Crux	Gigante B0	8,1	150	34 000	14	28 000	U-B = -1, B-V = -0,23
Gama Crux	Gigante M4	56,5	67	1500	3	3400	U-B = 1,78, B-V = 1,6

Tabela 3 - Relação entre comprimento de onda e frequência, atribuindo uma cor para cada faixa do espectro de frequências. Fonte: Ref. [2].

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (10 ¹² Hz)
Violeta	390-455	659-769
Azul	455-492	610-659
Verde	492-577	520-610
Amarelo	577-597	503-520
Laranja	597-622	482-503
Vermelho	622-780	384-482

foi subtraída da obtida com o filtro B e, da mesma forma, para B-V. Vega, uma estrela branca ($T_{\text{efetiva}} = 10.105 \pm 230$ K), tem (U-B) = (B-V) = 0. O Sol, uma estrela amarela ($T_{\text{efetiva}} = 5.778 \pm 1$ K), tem (U-B) = 0,17 e (B-V) = +0,68.

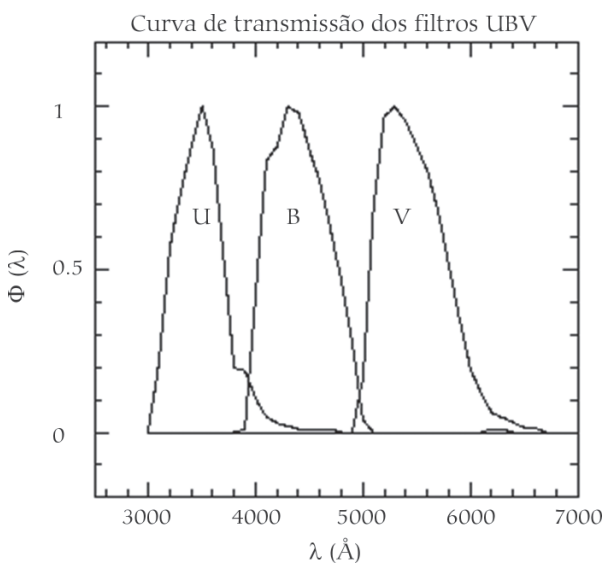


Figura 9 - Curvas de transmissão dos filtros UBV. Fonte: Ref [2].

Conclusões

Através de uma atividade de observação do céu e registro da imagem de uma constelação por meio de uma câmera fotográfica digital, podemos trazer para o ambiente da sala de aula as diferentes cores das estrelas, associando-as às propriedades físicas das mesmas e trabalhando diferentes conteúdos de forma criativa e prática. Ainda introduzimos conceitos, propostos pelos PCNs, de astronomia e de física moderna, além do contato com instrumentos de medida. Apesar de, dentro desta proposta, não ser possível determinar a temperatura das estrelas com relativa precisão, devido ao fato de propormos uma atividade de fácil implementação, é possível ter-se uma ideia da ordem de grandeza destas temperaturas. Nosso objetivo no presente trabalho foi o de explorar a ligação entre tópicos de astronomia e física moderna, utilizando a primeira como tema gerador da segunda. Estas atividades ainda podem ser desenvolvidas juntamente com outras propostas descritas nas referências deste trabalho, enriquecendo o estudo da astronomia em sala de aula. Apesar desta proposta não ter sido implementada em sala de aula visando a abordagem de tópicos de física moderna na educação básica, foi testada no que diz respeito à viabilidade de sua implementação, isto é, à obtenção de imagens fotográficas de estrelas e/ou constelações por estudantes, e a determinação de cores características e temperaturas. Neste caso, a

atividade foi bem sucedida, indicando que além de viável, é simples e prazerosa, sendo capaz de despertar o interesse dos alunos para a astronomia e para a física moderna.

Notas

¹Instrumento que decompõe a luz em seus diferentes comprimentos de onda, da mesma forma que a luz branca é decomposta em várias cores ao passar por um prisma.

²Para maiores detalhes, ver <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.html>.

³ <http://www.stellarium.org>.

⁴Editor de imagens gratuito disponível tanto para o sistema operacional Windows quanto Linux. Mais informações disponíveis em <http://www.gimp.com.br/smf/index.php>.

Referências

- [1] Marcos D. Longhini, Física na Escola **10**(1), 26 (2009).
- [2] K.S. Oliveira Filho e M.E.O. Saraiva, Hipertexto de Astronomia e Astrofísica, disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>.
- [3] Pedro A. Ourique, G. Odilon e F. Catelli, Revista Brasileira Ensino Física **32**, 1302 (2010).
- [4] Marcos C.D. Neves e R.F. Pereira, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia **4**, 27 (2007).
- [5] M. Andrade, J. Silva e A. Araújo, IX Jornada de Ensino Pesquisa e Extensão da UFRPE, (UFRPE, Recife, 2009), disponível em <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R0793-3.pdf>, acesso em 25/2/2011

Saiba mais

Marisa A. Cavalcante e Cristiane R.C. Tavoraro, Física na Escola **3**(2), 40 (2002).



Um pouco de física na superfície do café

Este artigo tem o intuito de mostrar conceitos de física associados a uma situação simples do cotidiano: as manchas esbranquiçadas sobre a superfície do café quente. Estas manchas (ver Fig. 1), que se apresentam ligeiramente suspensas em relação à parte escura da superfície, podem ser observadas em uma xícara de café bem quente e “escondem” alguns tópicos comumente abordados no ensino de física. Sua análise revelará uma conexão com os conceitos de vaporização, condensação, convecção, reflexão difusa e a formação de nuvens.

Física envolvida

Sabe-se que quando o café quente tem sua superfície exposta ao ar frio, as moléculas de água mais energéticas no interior do café sobem por convecção, atingem a superfície e podem escapar para o ar, ou seja, ocorre evaporação do café. Vale lembrar que é a água que evapora, deixando os resíduos sólidos do café para trás. Ao mesmo tempo em que existem moléculas de água se livrando do café e escapando para o ar, há também moléculas de vapor de água, perto da superfície, entrando no café líquido, estabelecendo assim uma

situação dinâmica de evaporação–condensação na superfície da bebida. As moléculas que conseguem se livrar das ligações do líquido e escapar para o ar são as mais energéticas e, assim, quando o fazem, levam consigo bastante energia. O café líquido que ficou para trás tem, portanto, menos energia, ou seja, quando estas moléculas escapam para o ar, o café fica menos quente, e, deste modo, vai se resfriando gradualmente.

Manchas esbranquiçadas

Existe uma quantidade muito grande de moléculas escapando do café e subindo para o ar. Mas quando elas assim o fazem, ganham espaço, no ar, para se expandir, com conseqüente diminuição de energia térmica. Isto faz com que este grupo de moléculas de vapor de água se resfrie e, em seguida, mude para o estado líquido novamente. Deste modo, uma vez que evapora e sobe, o vapor de água perde energia, tornando-se líquido novamente. Ele se condensa a uma altura bem próxima à superfície livre do café. Quando no estado líquido, as moléculas de água se aglutinam, formando como que mini-nuvens de água logo acima da superfície do

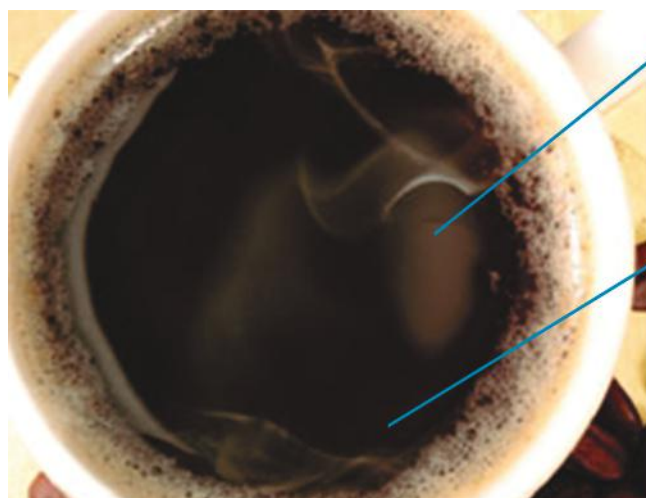
.....
Danilo Claro Zanardi¹ e

Mikiya Muramatsu²

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

¹E-mail: dczanardi@usp.br

²E-mail: mmuramat@if.usp.br



Manchas esbranquiçadas, como que mini nuvens suspensas um pouco acima da superfície do café

Partes escuras, que representam o nível da superfície do café; por onde moléculas de água entram no café.

Este artigo mostra conceitos básicos de física relacionados a fenômenos que ocorrem na interface do café quente com o ar. Um turbilhão de moléculas e a física térmica em ação numa simples xícara de café ilustram a aplicabilidade desta ciência, além de servir como um exemplo com enorme potencial didático para sala de aula.

Figura 1 - Manchas esbranquiçadas sobre a superfície do café quente.

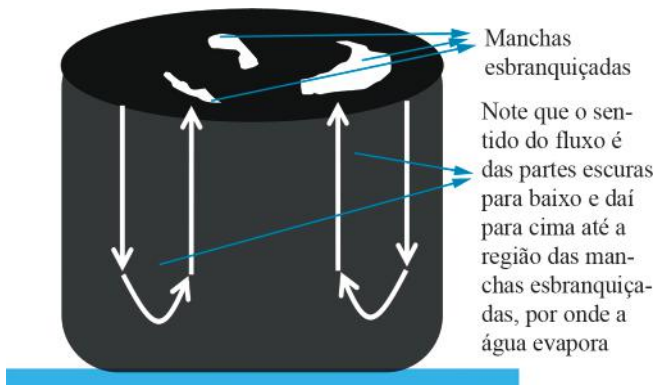


Figura 2 - Esquema das células de convecção.

café, ocasionando, desta maneira, as manchas esbranquiçadas vistas na Fig. 1.

De que forma as manchas de água se mantêm acima da superfície livre do café?

Enquanto o café estiver bem quente, haverá moléculas de café líquido escapando das ligações de líquido e subindo para o ar. Estas inúmeras moléculas, ao subir, empurram para cima as moléculas de água da mancha (que já haviam se condensado). Portanto, são as inúmeras outras moléculas de água se desligando do café e subindo, que causam uma força ascendente que equilibra o peso da mancha esbranquiçada de água, sustentando a mesma acima da superfície.

Por que as manchas não cobrem toda superfície livre do café?

A parte interna do café está mais quente que sua superfície, uma vez que esta última está em contato com o ar, perdendo calor para ele, que, aliás, é perdido principalmente por evaporação e irradiação. Quando um fluido apresenta regiões de diferentes temperaturas, estabelece-se em seu interior correntes de convecção. A região do interior do café que está um pouco mais quente é menos densa que as regiões um pouco mais frias. O café mais quente e menos denso sobe, enquanto o café mais frio e mais denso, desce, estabelecendo-se em seu interior correntes de convecção (Fig. 2). As manchas se formam justamente nas regiões da superfície por onde está chegando o fluxo ascendente de café quente, com moléculas mais energéticas.

Por que as manchas apresentam esta cor esbranquiçada?

Um corpo, quando iluminado com luz branca, é visto de cor branca quando reflete as componentes que formam esta luz. A água reflete difusamente e de modo aproximadamente uniforme a luz branca,

não favorecendo nenhuma de suas frequências componentes, daí a razão das nuvens também se apresentarem com esta cor no céu. Aliás, o processo de formação das nuvens reais é similar ao de formação destas manchas sobre o café: a água de rios, lagos e mares evapora, o vapor de água sobe por ser menos denso que o ar e, ao subir, se expande, se esfria, se condensa e forma as nuvens. Obviamente este fenômeno ocorre em outras bebidas que têm como base a água, como por exemplo o chá quente; no entanto, por ser o café escuro e as manchas de água esbranquiçadas, o contraste facilita sua visualização.

Mais curiosidades

Quando assopramos a superfície do café para acelerar seu resfriamento, o que fazemos é "arrancar" estas manchas, deslocando o equilíbrio no sentido de favorecer que mais moléculas escapem para o ar, uma vez que a barreira de água foi retirada. Café evaporando mais rapidamente é sinônimo do café perdendo suas moléculas mais energéticas mais rapidamente, o que acelera seu resfriamento.

Um pouco mais sobre evaporação

A velocidade de evaporação V (massa que evapora na unidade de tempo) é dada pela fórmula empírica de Dalton, que traduz a influência de vários fatores sobre o fenômeno

$$V = \frac{K.A.(F - f)}{P_{ext}}$$

onde K é uma constante característica de cada líquido e apresenta valor alto para líquidos voláteis (éter e álcool) e baixo para líquidos fixos (óleo, mercúrio); A é a área da superfície do líquido em contato com o ambiente externo e que pode evaporar; note que a velocidade de evaporação é diretamente proporcional a esta área, daí estender-se a roupa no varal para que evapore mais rapidamente; P_{ext} é a pressão externa, quanto maior seu valor, mais lenta a evaporação do líquido, pois o aumento da pressão externa dificulta o escape de moléculas para o ambiente; F é o valor da pressão máxima de vapor, que, por sua vez, aumenta com a temperatura; portanto, fixando-se outros parâmetros, quanto maior a temperatura do líquido, mais facilmente irá se evaporar, e f é a pressão parcial de vapor

junto ao líquido; note que quanto mais vapor do líquido estiver ao seu redor, mais difícil será do líquido evaporar. Não presente na fórmula, a evaporação depende também do vento local, ou seja, do movimento relativo dos gases nas proximidades do líquido que está evaporando. Fixando-se os outros parâmetros, quanto maior o vento, maior também será a velocidade com que o líquido evapora.

Por fim, vale lembrar que, quando o líquido evapora, ele rouba calor da substância ou superfície com a qual estava em contato, o que está associado com o processo de termo-regulação de nosso organismo: suamos e, quando o suor evapora, resfriamos. Note que em um ambiente com vento, o suor evapora mais rapidamente e conseguimos nos refrescar mais facilmente. Note ainda que em locais úmidos, a variável f da fórmula é alto, o que dificulta a evaporação de nosso suor, o que faz com que experimentemos uma sensação de desconforto e de abafado.

Sugestão para sala de aula

O exemplo deste artigo talvez seja mais bem aproveitado como um experimento investigativo depois que os temas relativos ao assunto já tenham sido tratados pelo professor e, deste modo, ajude o aluno a perceber a união dos conceitos físicos que, por razões didáticas, por vezes são ensinados em tópicos separados e desconexos. Uma possível maneira de utilização:

Lição de casa para o aluno

1) Pedir aos alunos que observem com bastante atenção, com bastante iluminação e sob um ângulo inclinado em relação à vertical, a superfície do café no interior de uma xícara enquanto ele ainda estiver bem quente.

2) Revise os conceitos de vaporização, evaporação e ebulição

3) Revise os conceitos de transmissão de calor por irradiação, condução e convecção.

4) Revise o conceito de cor.

5) Pesquise qual a razão das nuvens possuírem uma coloração esbranquiçada.

6) Pesquise sobre a formação de nuvens.

Em sala

1) O professor deve providenciar xícaras de café bem quente para que possam ser observadas durante a aula e, se possível, lentes de aumento (lupas).

Perguntas que podem ser formuladas

1) O que vocês observam sobre a superfície?

2) O que vocês acreditam ser estas manchas?

3) Qual a diferença entre as partes claras e escuras na superfície do café?

4) Tentem observar se as manchas claras e as partes escuras estão exatamente no mesmo nível.

5) Por que vocês acham que as manchas possuem esta cor esbranquiçada?

6) O que vocês acreditam que mantém as manchas um pouco acima da superfície?

7) Existe alguma semelhança, no que diz respeito à física, entre estas manchas e as nuvens do céu?

Papel do professor

1) Fazer as perguntas.

2) Listar na lousa as respostas.

3) Pedir que os próprios alunos, usando aquilo que revisaram e pesquisaram em casa, tentem levantar argumentos que sejam a favor ou contra as respostas que foram dadas.

4) Coloque, ele próprio, argumentos que ajudem no fluir da discussão.

Considerações finais

Tudo indica que para se levar a cabo o procedimento e discussão propostos acima será necessário o tempo de uma aula inteira, o que talvez inviabilize a discussão, uma vez que a falta de tempo tem se mostrado uma das reclamações mais frequentes dos professores do Ensino Médio. Por outro lado, o ganho que se pode ter, ajudando os

alunos a contemplar a física que viram em sala de aula em algo tão simples de seus cotidianos, poderá ser de muita valia.

Saiba mais

J. Ingram, *Manchas de Café* (Editora, Rio de Janeiro, 2003), cap. 4.

R. Feynman, *Lectures on Physics* (Addison-Wesley, Menlo Park, 1977), v. 1, p. 1-5.

F. Ramalho Junior, N.G. Ferraro e P.A.T. Soares, *Os Fundamentos da Física* (Editora Moderna, São Paulo, 2007) v. 2, 6ª ed., p. 111-113.

G.J. Biscuola, R.H. Doca e N. Villas-Boas, *Tópicos de Física* (Ed. Saraiva, São Paulo, 2009), v. 2, p. 297.

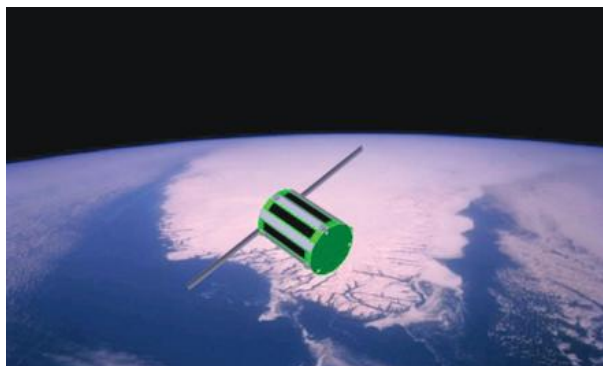
Satélite montado por estudantes brasileiros deve entrar em órbita

Professores e estudantes do quinto ano da Escola Municipal Tancredo Neves, de Ubatuba, litoral norte paulista, estão construindo um satélite artificial que deve ser lançado nos Estados Unidos e entrar em órbita ainda neste ano.

A iniciativa, que conta com o auxílio de empresários e pesquisadores, partiu do professor de matemática Candido Osvaldo de Moura, que em fevereiro de 2010 conheceu os kits de satélites TubeSats, por meio da revista *Interorbital*¹.

O satélite deve permanecer em uma órbita a 300 quilômetros de altitude durante três meses. Durante esse tempo vai emitir uma mensagem cujo conteúdo está sendo escolhido por meio de concurso realizado entre os estudantes.

A edição de janeiro da revista *SatMagazine*, especializada em satélites, citou o trabalho realizado em Ubatuba: “O TubeSats já é parte do currículo de universidades e escolas ao redor do mundo. Talvez o mais ambicioso projeto esteja no



Concepção artística de um TubeSat em órbita.

Brasil em um programa coordenado por Candido Osvaldo e Emerson Yaegashi, no qual 120 estudantes criaram 22 maquetes do TubeSats em sala de aula. Os alunos que construírem as melhores maquetes ganharão a honra de montar o TubeSat orbital real”.

Sérgio Mascarenhas, coordenador de projetos do Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos, tem acompanhado com entusiasmo a construção do satélite de Ubatuba: “O apoio à iniciativa do professor é a saída para melhorarmos a

educação no Brasil”, comenta. Em férias, o professor Candido Osvaldo de Moura não foi encontrado para comentar o projeto que ele coordena.

O vídeo “Mão na massa: aprendendo a soldar, criar placas, corroer e fabricar placas no seu escritório”² contém etapas do processo de produção das placas pelos professores e pelas crianças – como a impressão, usando ferro de passar roupa.

Fontes: Portal Pion e Revista Fapesp.



Detalhe da montagem do transmissor de um TubSat típico.

Notas

¹http://interorbital.com/TubeSat_1.htm.

²<http://www.thedevelopersconference.com.br/tdc/2010/sp/videos/aprendendo-a-fabricar-placas>.



Sugestão de experimentos referentes à eletricidade e magnetismo para utilização no Ensino Fundamental

Moacir Pereira de Souza Filho

Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Departamento de Química, Física e
Biologia, Universidade Estadual
Paulista, Presidente Prudente, SP, Brasil

Sérgio Luiz Bragatto Boss

Centro de Formação de Professores,
Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia, Amargosa, BA, Brasil

João Mianutti

Unidade Universitária de Dourados,
Universidade Estadual de Mato Grosso
do Sul, Dourados, MS, Brasil

João José Caluzi

Departamento de Física, Faculdade de
Ciências, Universidade Estadual
Paulista, Bauru, SP, Brasil

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) têm como essência a compreensão de ciência por parte do aluno. Dentre as suas recomendações, propõe-se a introdução do conceito de energia e suas transformações, para que o aluno do Ensino Fundamental possa ter uma visão geral do mundo que o cerca.

Existe uma preocupação presente nos PCNs quanto aos procedimentos, valores e atitudes a serem desenvolvidas neste nível de ensino. É desejável que o aluno reconheça e identifique nos equipamentos ou em seus elementos: sua capacidade de realizar trabalho; qual é a fonte de energia presente; o material de que é feito; etc. Além disso, desenvolver competências e habilidades como a comunicação oral e escrita; o confronto das suas suposições individuais e/ou coletivas com as concepções científicas e; a possibilidade de divulgação dos conhecimentos elaborados na escola, para a comunidade em geral [1, p. 71-73]. Assim, o desenvolvimento de atitudes e valores é tão essencial quanto do desenvolvimento de conceitos e procedimentos.

Os Parâmetros Curriculares apontam, ainda, para a importância educativa da inserção de temas experimentais logo nas primeiras séries do Ensino Fundamental. Assim, os alunos aprendem a “entender ciências”, pois alguns elementos emergem do pensamento infantil.

Os Parâmetros Curriculares apontam, ainda, para a importância educativa da inserção de temas experimentais logo nas primeiras séries do Ensino Fundamental. Assim, os alunos aprendem a “entender ciências”, pois alguns elementos emergem do pensamento infantil

tados obtidos [1, p. 80-1].

Embora as crianças do primeiro ciclo do Ensino Fundamental ainda não tenham atingido um nível de abstração adequado para o pensamento por conceitos [2], o contato desses estudantes com experimentos de física, observações diretas e/ou indiretas e a manipulação de componentes e equipamentos pode subsidiar discussões sobre a existência de dispositivos que

transformam um tipo de energia em outro, *i.e.*, energia química em elétrica e energia elétrica em luminosa, dentre outras transformações de energia. Neste sentido, é possível desenvolver atividades junto aos alunos daquele ciclo da educação básica, buscando

estabelecer pontes entre a linguagem cotidiana e a científica, com o objetivo de adquirir alguns conhecimentos de conteúdos específicos da física que não seria comum de se adquirir fora do âmbito escolar. Isto é importante para que em níveis escolares posteriores, como no Ensino Médio, a criança tenha maiores condições de avançar para o pensamento por conceitos nesta disciplina.

Tendo em vista esta perspectiva, é preciso trabalhar os conteúdos de uma forma que seja instigante e que propicie o interesse dos alunos pelos conteúdos e conceitos científicos. Nos últimos anos, algumas pesquisas têm sido realizadas sobre o ensino de ciências para as séries iniciais e têm mostrado a importância desta prática [3-5]. Estas pesquisas têm dois pontos em comum: a utilização de experimentos como principal fundamentação de uma proposta centrada na interação do aluno com o objeto de ensino, o que justifica a utilização dos aparatos experimentais e; esses estudos revelam que

Experimentos na forma de desafios podem ser frutíferos ao professor no processo de ensino e profícuos para o desenvolvimento do pensamento infantil. O artigo apresenta a descrição de cinco proposições de atividades experimentais que estão relacionadas aos tópicos da eletricidade e do magnetismo, seguidas dos respectivos problemas a serem resolvidos por estudantes do Ensino Fundamental. O objetivo desse trabalho é subsidiar a atividade docente, visando a inserção da física neste nível de escolaridade. Acredita-se que o importante nesta fase não deve ser ensinar propriamente a física, mas despertar o interesse da criança por essa ciência e explorar o seu desenvolvimento cognitivo.

o importante nesta fase da aprendizagem é introduzir um novo vocabulário e despertar o interesse nos alunos pelas disciplinas científicas, visto que conceitos aceitos pela comunidade científica serão desenvolvidos em séries posteriores. Assim, este estágio caracteriza-se como uma preparação para o Ensino Médio.

O objetivo deste trabalho é contribuir com os professores que atuam nas séries iniciais e enfrentam o desafio de ensinar ciências, sugerindo cinco propostas experimentais referentes ao conteúdo da eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo e algumas orientações de como implementá-las em sala de aula. Pode-se afirmar que o ensino de física e o uso de atividades experimentais nas séries iniciais não podem, a rigor, ser associadas simplesmente ao ensino de determinados conceitos científicos, mas exploradas tendo como horizonte o desenvolvimento da criança.

Cabe salientar que os autores desenvolveram os experimentos e aplicaram-nos em uma escola particular situada no interior do Estado de São Paulo. No entanto, dadas as características deste artigo, apresentaremos apenas as propostas experimentais com algumas considerações, que visam subsidiar o planejamento de situações didáticas do professor, deixando as discussões de ordem epistemológica para um trabalho futuro.

Apresentação das propostas experimentais

A proposta contempla o conteúdo de magnetismo, eletricidade e eletromagnetismo propondo atividades como forma de desafio e sugerindo cinco experimentos que podem ser construídos com material de fácil aquisição e com um pouco de habilidade, de acordo com a temática proposta. A seguir apresentamos os experimentos com os respectivos objetivos almejados: Experimento 1: carrinhos com ímãs. Objetivo: identificação da polaridade dos ímãs. Experimento 2: ímãs no tubinho. Objetivo: diferenciação entre ímãs e materiais ferromagnéticos. Experimento 3: circuito elétrico. Objetivo: diferenciação de materiais condutores e não-condutores de

eletricidade. Experimento 4: circuitos elétricos em paralelo. Objetivo: conhecer circuito em série e em paralelo e acender duas lâmpadas de 1,5 V ao mesmo tempo. Experimento 5: eletroímã (solenóide). Objetivo: características do eletroímã (corrente elétrica gerando campo magnético).

Os experimentos utilizam basicamente os seguintes materiais: suportes para pilhas e pilhas de 1,5 V; fios com junções “boca de jacaré” ou “garra jacaré”, para facilitar o contato elétrico; carrinhos de madeira; trilho de metal (para o carrinho); ímãs pequenos (em forma de botão e cilindro); pequeno tubo de ensaio; lâmpadas de 1,5 V; bobina (fio de cobre esmaltado enrolado em canudinho de refresco); prego (núcleo do solenóide); interruptor liga/desliga.

A seguir discutiremos sobre os cinco experimentos, apresentando: sugestão ao professor de um roteiro de atividades; foto e descrição do experimento e; descrição do problema a ser resolvido pelo aluno. Todos os experimentos foram realizados em grupos de no máximo três alunos.

Experimento 1

Problema proposto: coloque os carrinhos sobre o trilho de forma que eles não encostem um no outro (Fig. 1). Anote a sequência dos números nos carrinhos. Explique porque eles não encostam um no outro. Faça um desenho do experimento.

Descrição e problema a ser resolvido

A Fig. 2 apresenta um esquema da Fig. 1, com uma possível forma de associar os carrinhos (existem outras). O aparato é composto por três carrinhos de madeira,¹ e cada um deles possui um ímã em forma de botão² acoplado em cada extremidade. Em um dos carrinhos temos polos diferentes nas extremidades, como se fosse uma barra de ímã, *i.e.*, polo norte de um lado e sul do outro; nos outros dois carrinhos a po-

laridade das extremidades é a mesma, ou seja, duas extremidades sul em um deles e, no outro, duas extremidades norte.

O trilho deve ser ligeiramente inclinado. Os alunos devem colocar os carrinhos no trilho, de forma que haja repulsão mútua. Isso ocorrerá quando ambos tiverem a mesma polaridade (norte-norte ou sul-sul). Em seguida, o aluno deverá anotar a sequência de números impressos nas extremidades dos carrinhos e fazer um desenho que ilustre a atividade realizada.

Experimento 2

Problema proposto: coloque três cilindros dentro do tubinho de vidro para que eles flutuem. Você observou algo de diferente entre os cilindros? O quê? Como você explica isso? Anote a sequência das letras nos cilindros. Faça um desenho do experimento.

Descrição e problema a ser resolvido

O experimento é composto por três ímãs cilíndricos e dois cilindros de ferro, idênticos aos ímãs. O objetivo do experimento é a diferenciação entre ímãs e materiais ferromagnéticos. O desafio para os alunos é fazer com que três dos cinco cilindros fiquem dentro de um tubinho de vidro (tubo de ensaio) sem se tocarem (ver Fig. 3). Para isso, é necessária que a polaridade de dois ímãs consecutivos seja idêntica. A inserção das peças pode ser de forma aleatória, por tentativa e erro. No entanto, os alunos podem testar os ímãs antes de introduzi-los no tubinho. O problema só será resolvido quando os alunos conseguirem que os polos coincidentes sejam semelhantes (norte-norte ou sul-sul), a exemplo do experimento anterior (com

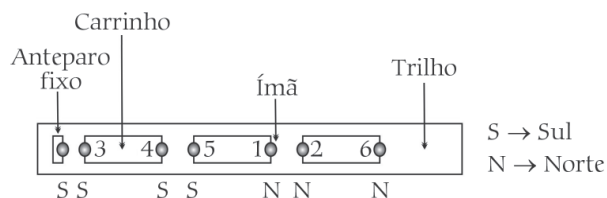


Figura 2 - Diagrama esquemático do experimento 1.

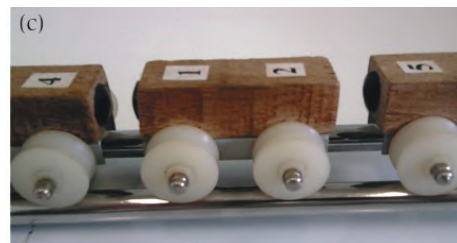
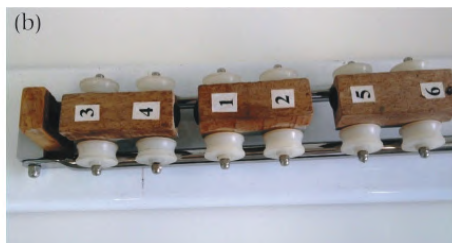
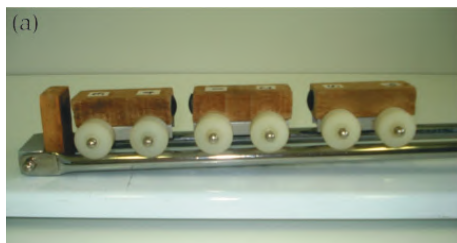


Figura 1 - Carrinhos com ímãs.

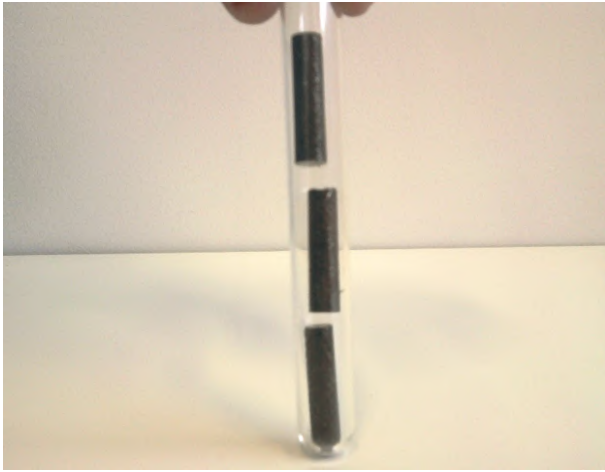


Figura 3 - Ímãs no tubinho.

os carrinhos). Em seguida, o aluno deverá anotar a sequência das letras impressas nos ímãs e elaborar um desenho sobre a atividade. Durante a atividade, o professor deve explorar o fato de dois cilindros serem atraídos nas duas extremidades, enquanto três cilindros não apresentam tal característica.

Experimento 3

Problema proposto: ligue os materiais que estão em cima da carteira para que a lâmpada acenda. Coloque os diversos materiais entre as garras. O que você observou de diferente? Como você explica isso? Faça um desenho do experimento.

Descrição e problema a ser resolvido

O professor deve deixar os materiais soltos ou desacoplados sobre a carteira, pois um dos objetivos dessa atividade é que os alunos solucionem o problema proposto por meio da ação sobre o objeto

e da interação com os colegas ou com o professor.

Trata-se de um circuito em série, inicialmente aberto, contendo um interruptor, uma pilha, e uma lâmpada (ver Fig. 4). Entre as duas garras devem ser conectados diversos tipos de materiais, dentre os quais alguns fecharão o circuito. Os alunos deverão ser capazes de identificar os materiais condutores e isolantes de eletricidade e verificar que apenas no primeiro caso, a lâmpada acende. Os materiais podem ser: pedaços de barbante; fios metálicos; pedaços de metais; madeira; papel; tecido; borracha; etc.

Experimento 4

Problema proposto: com os materiais que estão em cima da carteira, ligue todos para que as duas lâmpadas acendam. Como você explica isso? Faça um desenho do experimento.

Descrição e problema a ser resolvido

O experimento 4, representado na Fig. 5, exige um pouco mais de conhecimento. É possível que os alunos tentem ligá-las em série, pela experiência que tiveram com o experimento realizado anteriormente, caso já o tenham realizado. No entanto, neste tipo de associação, a lâmpada não acende ou acende com um brilho pouco intenso. Em caso de dificuldade, o professor deve mediar a discussão com o grupo garantindo que haja possibilidade de todas as crianças colaborarem com a solução do desafio, além de auxiliar

com sugestões para a resolução do problema.

Experimento 5

Problema proposto: com os materiais que estão em cima da carteira, faça com que o prego consiga atrair o clipe. Como você explica isso? Faça um desenho do experimento.

Este experimento é composto por um suporte para pilhas, fios com “garras de jacaré”, interruptor e um solenóide (Fig. 6). O solenóide, a exemplo dos demais componentes, deve estar desacoplado do circuito, inclusive o prego deve estar fora do enrolamento. O núcleo pode ser um prego (7 cm) e o enrolamento de fio de cobre esmaltado pode ser feito sobre um pedaço de canudo de refresco (7 cm). Para que o prego atraia o clipe é preciso montar o circuito e colocar o prego dentro do canudo de refresco. A grande dificuldade talvez ocorra caso os alunos não percebam que o prego deve ser introduzido no interior do canudo de refresco. A resolução deste problema pode exigir uma intervenção mais direta por parte do professor.

Sugestões para o trabalho em sala de aula

Antes da realização dos experimentos, sugere-se que o professor faça uma discussão inicial, com os seguintes objetivos: i) verificar e sistematizar os conhecimentos que os alunos já possuem sobre os assuntos abordados; ii) fornecer informações que podem facilitar e subsidiar o entendimento dos problemas apresentados e a realização dos experimentos; iii) promover um ambiente que contribua para a participação dos alunos, de forma que eles fiquem motivados e dispostos a desenvolverem as atividades propostas; iv) elaborar e discutir um folheto intitulado “Normas de Segurança”, pois embora es-

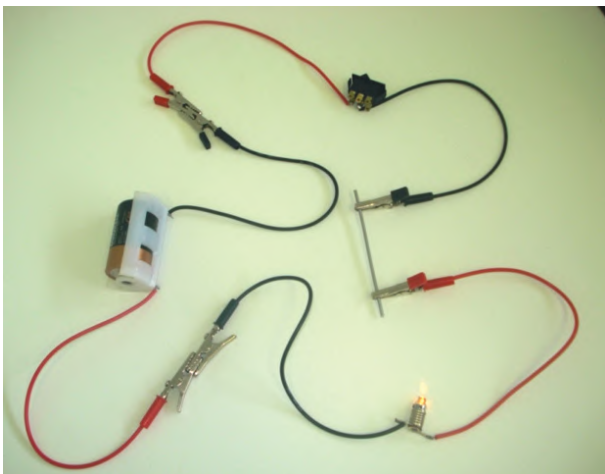


Figura 4 - circuito elétrico (materiais condutores e isolantes).

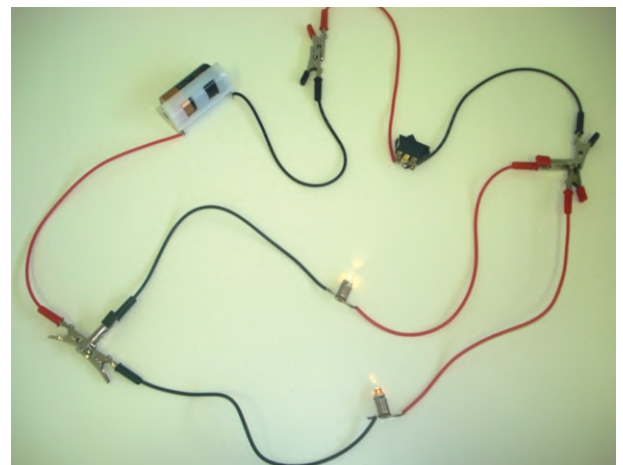


Figura 5 - Circuito elétrico paralelo.

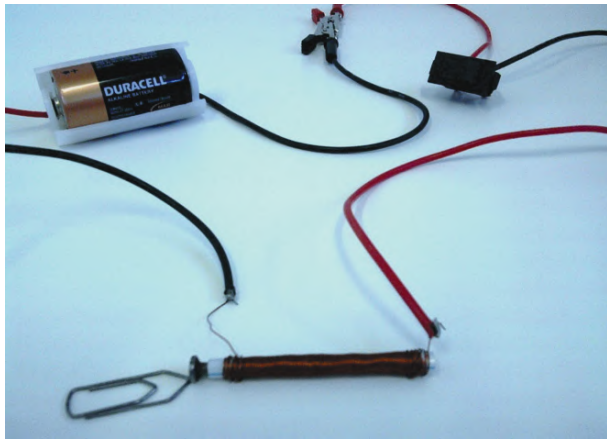


Figura 6 - Solenóide.

ses experimentos não comprometam a integridade física dos alunos, eles devem estar cientes que a eletricidade residencial apresenta perigo. O professor pode, inicialmente, fazer as seguintes questões a fim de conhecer as concepções prévias dos alunos: *O que é eletricidade?*; *O que é um circuito?*; *O que é um ímã?*; *Quais as características de um ímã?*; *Que tipo de material é atraído pelos ímãs?*; *O que é um interruptor?*; *O que é um condutor?*; *O que significam os termos série e paralelo?* Após a discussão inicial, o professor pode pedir que os alunos solucionem os problemas. O professor deve elaborar um roteiro que contenha uma situação problema para cada experimento (como aqueles sugeridos anteriormente), e que possua espaços para que os alunos registrem a forma como resolveram o problema, ou seja, devem explicar textualmente e fazer um desenho do experimento. O papel do professor é o de auxiliar os grupos na solução dos problemas e, consequentemente, na montagem e explicação dos experimentos, o que deve ser feito por meio de questionamentos e de sugestões. Esta etapa propicia um momento de interação aluno-aluno e, principalmente, aluno-professor. Após a realização dessas etapas pode ser feita uma discussão final, para que cada grupo exponha aos demais colegas como resolveu cada um dos problemas propostos, pois o aprendizado é uma construção que se estabelece por meio da interação do indivíduo com o outro, e com o meio.

Neste momento o professor pode aproveitar para sistematizar as explicações e 'preparar' os alunos para sintetizar a principais ideias. Após esta discussão,

Se o ambiente, de forma geral, se constitui em fonte para desenvolvimento da criança, então, quanto mais ricas as situações forem em termos didáticos, mais interessantes serão para o processo de ensino e aprendizagem

podem ser utilizados como meio de ensinar o conteúdo, uma vez que possibilitam o desenvolvimento de atividades interessantes e estimuladoras para as crianças neste estágio da aprendizagem, bem como propiciam certa concretude às atividades, o que de certa forma estimula a criança não só a agir, mas também ver, pensar e experimentar. Ressaltamos que o planejamento do conteúdo foi pensado dentro das possibilidades cognitivas e peculiares dessa faixa etária, tendo em vista a discussão feita neste trabalho. É importante sublinhar que o ensino de física e o uso de atividades experimentais nas séries iniciais não podem, a rigor, ser associadas simplesmente ao ensino de determinados conceitos científicos, mas exploradas tendo como "pano de fundo" o desenvolvimento do aprendiz.

Situações vividas pelo estudante durante seu aprendizado estarão fortemente ligadas ao seu sistema cognitivo. Focalizamos o contexto de situações experimentais a fim de estabelecer conexões entre o real e o abstrato e contribuir para o progresso do aluno. Assim, os alunos, ao verem os ímãs que agem uns sobre os outros sem o contato direto, podem ter, futuramente, mais elementos cognitivos que permitam distinguir a ação a distância e a noção de campo como um meio entre os corpos interagentes; ao experimentar materiais condutores e isolantes, saberá que os metais possuem a propriedade da condutibilidade; no caso dos circuitos elétricos, as atividades possibilitam a

aprendizagem de ideias que posteriormente subsidiem a diferenciação entre circuitos em série e em paralelo; no caso do solenóide, verão que a eletricidade pode gerar o magnetismo, e poderão entender mais facilmente o funcionamento de geradores de energia elétrica.

Considerações finais

Apresentamos e discutimos experimentos que julgamos ser potencialmente relevantes para in-

trodução de termos científicos no vocabulário dos alunos do Ensino Fundamental referentes ao tema proposto. Eles podem ser utilizados como meio de ensinar o conteúdo, uma vez que possibilitam o desenvolvimento de atividades interessantes e estimuladoras para as crianças neste estágio da aprendizagem, bem como propiciam certa concretude às atividades, o que de certa forma estimula a criança não só a agir, mas também ver, pensar e experimentar. Ressaltamos que o planejamento do conteúdo foi pensado dentro das possibilidades cognitivas e peculiares dessa faixa etária, tendo em vista a discussão feita neste trabalho. É importante sublinhar que o ensino de física e o uso de atividades experimentais nas séries iniciais não podem, a rigor, ser associadas simplesmente ao ensino de determinados conceitos científicos, mas exploradas tendo como "pano de fundo" o desenvolvimento do aprendiz.

Situações vividas pelo estudante durante seu aprendizado estarão fortemente ligadas ao seu sistema cognitivo. Focalizamos o contexto de situações experimentais a fim de estabelecer conexões entre o real e o abstrato e contribuir para o progresso do aluno. Assim, os alunos, ao verem os ímãs que agem uns sobre os outros sem o contato direto, podem ter, futuramente, mais elementos cognitivos que permitam distinguir a ação a distância e a noção de campo como um meio entre os corpos interagentes; ao experimentar materiais condutores e isolantes, saberá que os metais possuem a propriedade da condutibilidade; no caso dos circuitos elétricos, as atividades possibilitam a

aprendizagem de ideias que posteriormente subsidiem a diferenciação entre circuitos em série e em paralelo; no caso do solenóide, verão que a eletricidade pode gerar o magnetismo, e poderão entender mais facilmente o funcionamento de geradores de energia elétrica.

Neste sentido, as experiências sugeridas neste artigo visam contemplar as orientações propostas pelos PCNs, que foram apresentadas na introdução deste trabalho, ou seja, apresentar aos alunos os diversos tipos de transformação de energia: magnética em mecânica (experimentos 1, 2 e 5); química em elétrica e elétrica em luminosa/térmica (experimentos 3 e 4) e, finalmente, elétrica em magnética (experimento 5).

Para concluir, cabe destacar que, se o ambiente, de forma geral, se constitui em fonte para desenvolvimento da criança, então, quanto mais ricas as situações forem em termos didáticos, mais interessantes serão para o processo de ensino e aprendizagem e, para realizar a mediação, é imprescindível que o professor das séries iniciais tenha uma boa formação geral e que tenha conhecimentos básicos de ciências no âmbito das diferentes disciplinas escolares.

Notas

¹Também é possível utilizar pequenos carrinhos que podem ser adquiridos em lojas de variedades a preços reduzidos. Neste caso, o trilho pode ser feito com um pedaço de madeira.

²Estes ímãs foram retirados de travessieiros magnéticos. Mas, é possível utilizar outros tipos de ímãs, desde que a configuração do carrinho fique a mesma. Os ímãs foram encaixados na madeira e colados nos carrinhos com cola de madeira.

Referências

- [1] Brasil, Secretaria de Educação Fundamental, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais* (MEC/SEF, Brasília, 1997), 136 p.
- [2] L.S. Vigotski, *A Construção do Pensamento e da Linguagem* (Martins Fontes, São Paulo, 2000).
- [3] A.M.P. Carvalho, et al. *Ciências no Ensino Fundamental: O Conhecimento Físico* (Scipione, São Paulo, 1998).
- [4] M.E.R. Gonçalves, *O Conhecimento Físico nas Primeiras Séries do Primeiro Grau*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- [5] C. Schroeder, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 89 (2007).



.....
Adriana Oliveira Bernardes

Universidade de Norte Fluminense,
Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil
Colégio Estadual Dr. Tuffy El Jaick,
Nova Friburgo, RJ, Brasil
E-mail: adrianaobernandes@uol.com.br
.....

No ano de 2009, declarado Ano Internacional da Astronomia, vários eventos foram realizados no Brasil e no mundo com o objetivo de tornar esta ciência mais próxima das pessoas, proporcionando assim sua inclusão na sociedade, propiciando a aproximação do universo da ciência do público em geral e principalmente despertando interesse pelas ciências em crianças e jovens. Porém é muito importante, para que possamos vivenciar a astronomia em nossas vidas, que os céus estejam limpos e que a luz não constituía um obstáculo à observação do céu, como também é importante que não prejudique a saúde das pessoas, fato que vem ocorrendo nas grandes cidades em maior proporção, porém fazendo parte hoje também de cidades do interior.

Para a escola é importante conscientizar os alunos sobre o problema, contribuindo assim para sua formação cidadã, uma vez que eles tomam conhecimento de um problema que prejudica a população em geral sobre vários aspectos: do ponto de vista da saúde, econômico, sem contar o fato de serem privados de uma bela visão do céu.

O ensino de física e as orientações curriculares

Segundo as orientações curriculares [1], “Um céu estrelado, por si só, é algo que proporciona inegável satisfação e sensação de beleza. O fascínio pelos fenômenos celestes levaram os seres humanos a especular e desenvolver ideias astronômicas desde a mais distante Antiguidade.”

Segundo Damiani [2, p. 106], em relação ao Ensino Médio, “Nesse nível de ensino, é possível usar o céu como um vasto conjunto de laboratórios de física: cinemática e dinâmica, termodinâmica, física nuclear, relatividade”.

A importância em se conhecer o tema Universo, que pode ser solidificada a partir de observações do céu, que levaria a inú-

meras discussões, é reforçada também pelos PCNs [3], segundo o qual “A importância que tiveram as ideias bem mais recentes de Galileu e Copérnico está na percepção da Terra como um astro do Universo, não o centro fixo em torno do qual este giraria.”

Além disso, os PCNs afirmam [1] que “Confrontar-se e especular sobre os enigmas da vida e do universo é parte das preocupações frequentemente presentes entre jovens nessa faixa etária”.

Neste sentido, um trabalho relacionado à astronomia iria de encontro a esta característica da faixa etária com a qual trabalhamos, alunos do Ensino Médio entre quinze e dezoito anos, estimulando seu interesse e conseqüentemente sua aprendizagem, principalmente na área científica.

Vários estudos mostram que a saúde das pessoas pode ser prejudicada pela luz excessiva. Segundo Nascimento [4], “O descanso noturno proporcionado pela escuridão ou penumbra acentuada é de suma importância ao ser humano, especialmente para as crianças e jovens em crescimento”. Ainda segundo ele, “a luz é nociva para produção do hormônio do crescimento, prejudicial à saúde humana”.

Sendo assim, além da luz excessiva prejudicar a saúde e também causar prejuízos econômicos, o que no caso da iluminação pública sai do bolso de todos nós, pode prejudicar sensivelmente a visão que temos do céu e muitas pessoas hoje perdem o direito de observar nossa própria galáxia, a Via Láctea, prejudicada pelas luzes excessivas das cidades.

Nossa pesquisa, que engloba a observação da poluição luminosa na cidade de Nova Friburgo, localizada no Rio de Janeiro, constatou por vezes focos de poluição luminosa; por isso percorremos alguns pontos da cidade realizando atividades que possibilitassem a verificação da qualidade do céu local, mostrando que a

A poluição luminosa vem se tornando algo comum nas grandes cidades, porém podemos observá-la também em cidades do interior como Nova Friburgo. Considerando a importância em se discutir esta questão dentro da escola, desenvolvemos projeto interdisciplinar em escola estadual do Rio de Janeiro, na qual abordamos a questão sobre vários aspectos, trazendo para o universo escolar um projeto interdisciplinar, na qual são discutidas questões relacionadas à saúde, economia e a própria visão do céu prejudicada por este problema.

poluição luminosa se encontra presente também no interior do estado.

A energia elétrica, que nos trouxe vários benefícios e confortos desde quando começamos a desfrutá-la no século passado, provoca hoje, em muitas cidades brasileiras, uma poluição luminosa onde a luz não só é desperdiçada como também muitas vezes deixa de cumprir seu objetivo. A poluição luminosa é originada a partir da luz mal direcionada que ilumina acima ou aos lados, ao invés de iluminar somente as áreas pretendidas, normalmente abaixo do ponto de luz. Dentre outros problemas, a poluição luminosa também colabora com o aquecimento global, que traz efeitos drásticos para os ecossistemas e população mundial, podendo resultar em um futuro catastrófico para nosso planeta.

Para que não ocorra a poluição luminosa, a luz emitida por candeeiros e projetores deve iluminar apenas seus alvos e onde se quer iluminar. Não devemos nos confundir e pensar que a poluição luminosa é inevitável. O progresso trazido pela energia elétrica, se bem aproveitado, pode iluminar sem poluir.

Este desperdício também está diretamente ligado a questões ambientais, prejudicando o meio ambiente a partir do momento em que exige um funcionamento maior de usinas elétricas ou térmicas, que terão que trabalhar mais e lançarão mais dióxido de carbono na atmosfera, colaborando como já citamos anteriormente para o aquecimento global.

A poluição luminosa advém do mal uso da energia pública ou da privada; no primeiro caso quem paga pelo desperdício são os cidadãos e os prejuízos podem ser muitos:

- Para os ecossistemas;
- Para a saúde das pessoas.

Objetivos do projeto

- Saber reconhecer os locais onde ocorre poluição luminosa;
- Verificar se as lâmpadas utilizadas na iluminação pública colaboram com o processo;
- Discutir a questão da poluição luminosa na escola;
- Verificar a qualidade do céu em Nova Friburgo.

Determinando focos de poluição luminosa em Nova Friburgo

Para podermos determinar os locais onde há poluição luminosa nas cidades, realizamos visitas às praças, ruas e prédios públicos e particulares, obtendo fotografias dos locais e também do céu, mostrando que o excesso de iluminação prejudi-

caria nossa visão do mesmo. Realizamos também observações do céu próximo a estes locais, onde obtínhamos a magnitude de algumas constelações, como a do Escorpião e de Órion.

Neste processo, pessoas do público em geral eram estimuladas a observar as constelações e dizer quantas estrelas podiam visualizar. Quanto maior o número de estrelas visualizadas, maior a magnitude da constelação observada.

A experiência realizada era simples, na qual um tubo de papel era utilizado para focalizar as constelações. Ela foi realizada em praças públicas, escolas e locais com baixa e alta luminosidade.

Na primeira etapa deste projeto foi realizada investigação do assunto “poluição luminosa” em livros, revistas e internet.

Depois foram investigados os principais tipos de sistema de iluminação e quais eram nocivos à qualidade do céu noturno.

Entrevistamos alunos, professores e pessoas da comunidade averiguando se já haviam ouvido falar em poluição luminosa.

A partir daí demos início à investigação de como Nova Friburgo ilumina suas ruas, verificando as lâmpadas utilizadas na iluminação pública e os focos de poluição luminosa.

Partindo para um trabalho de campo, fotografando postes, praças e residências, observamos o quanto a iluminação pode ser inadequada, realizando conjuntamente um trabalho de conscientização do público em relação ao problema.

Segundo Salvador [5, p. 189],

Além de conceitos de astronomia e geografia, pode-se explorar uma simples observação noturna em aulas de história, física, mitologia e até mesmo filosofia. É possível conduzir uma atividade proveitosa de observação do céu sem instrumentos em qualquer lugar do Brasil, necessitando-se apenas de um local aberto com pouca iluminação, como um pátio ou quadra de esportes que estejam escuros.

No contato com o público e comunidade escolar, realizamos, através de questionário, pesquisa sobre o que os mesmos pensavam da qualidade do céu nos dias

de hoje, e se haviam observado alguma modificação em relação ao céu que visualizavam em sua infância. Sondamos também se tinham o hábito de observar o céu

com frequência e quais os fenômenos achavam mais interessantes dentre os que podem ser observados no céu. A partir do momento em que detectamos focos de poluição luminosa, foi realizada conscientização

das pessoas em relação ao problema na cidade. Na Fig. 1 vemos uma praça de Nova Friburgo prejudicada pela poluição luminosa.

Resultados e discussões

Quando iniciamos o projeto, poucas pessoas haviam se questionado sobre como o excesso de luz prejudica nossa visão do céu noturno. Porém muitos, principalmente os mais velhos, haviam notado que o céu de sua infância não era mais o mesmo.

A discussão dos fatores econômicos em relação à questão foi importante, pois se trata de uma questão de cidadania; as pessoas que tomaram contato com o projeto começaram a pensar sobre muitas destas questões e hoje em dia discutem o fato de serem elas quem pagam a conta da iluminação pública excessiva. O importante foi fazê-las notar que era uma questão complexa, não relacionada apenas a não ter um céu observável à noite, mas também ao prejuízo de ecossistemas, da saúde e ainda o econômico.



Figura 1 – Praça Getúlio Vargas, exemplo de poluição luminosa em Nova Friburgo.

No Colégio Estadual Dr. Tuffy El Jaick poucas pessoas haviam atentado para questão e puderam apreciar, através de seminários apresentados e observações do céu noturno, o custo da poluição luminosa.

Tendo a possibilidade de discutir questões importantes para o cidadão nos dias de hoje, relacionada a algo do qual tanto se fala, que é a poluição, os alunos e o público descobriram através do projeto que existe também a poluição luminosa.

Conclusões

O projeto em si tem demonstrado a possibilidade da escola atuar junto às pessoas da comunidade levando questões relevantes e atuais.

Esperamos com ele alcançar um bom número de pessoas, não só de Nova Friburgo, mas também em comunidades circunvizinhas, levantando a questão da poluição luminosa e mostrando que o problema passa por questões muito mais complexas do que a de ter um céu limpo para observações astronômicas. Na Fig. 2

vemos as lâmpadas responsáveis pela poluição luminosa de Nova Friburgo.



Figura 2 - Lâmpadas responsáveis por focos de poluição luminosa em Nova Friburgo.

Referências

- [1] Brasil, *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC/SEB, Brasília, 2006).
- [2] A. Damiani, *Fascínio do Universo* (Odysseus Editora Ltda, São Paulo, 2010), 111 p.
- [3] Brasil, *Introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais* (MEC/CNE, Brasília, 1998).
- [4] E.T. Nascimento, *Poluição Luminosa e Saúde Pública*, disponível em http://www.nead.unama.br/prof/admprofessor/file_producao.asp?codigo=122, acessado em em 20/6/2009.
- [5] S. Nogueira, *Astronomia: Ensino Fundamental e Médio* (Coleção Explorando o Ensino, v. 11) (MEC/SEB/MCT/AEB, Brasília, 2009), 232 p.

Saiba mais

A.O. Bernardes, *Poluição Luminosa*, disponível em <http://www.novaimprensa.com.br>, acessado em 10/6/2011.

Uma questão de prioridade só recentemente resolvida

Todos conhecem a teoria da expansão do universo. O que poucos conhecem é que, durante décadas, pairou no ar a suspeita que o grande astrônomo Edwin Hubble (1889-1953), o mesmo que dá nome ao famoso telescópio e a uma constante da física, teria “roubado” a ideia do físico e padre jesuíta Georges Lemaître (1894-1966). Em 1929, ao observar o deslocamento para o vermelho da luz de várias galáxias, Hubble chegou à conclusão que o universo estava em expansão (o deslocamento para o vermelho é resultado do efeito Doppler para a luz, análogo ao efeito Doppler que ouvimos em uma sirene de ambulância que se aproxima ou se afasta de nós. No caso da luz, o chamado desvio para o vermelho - comprimento de onda maior - indica um distanciamento. Um desvio para o violeta, um comprimento de onda menor, implica em uma aproximação). Mas Lemaître chegara a esta conclusão dois anos antes de Hubble. Até



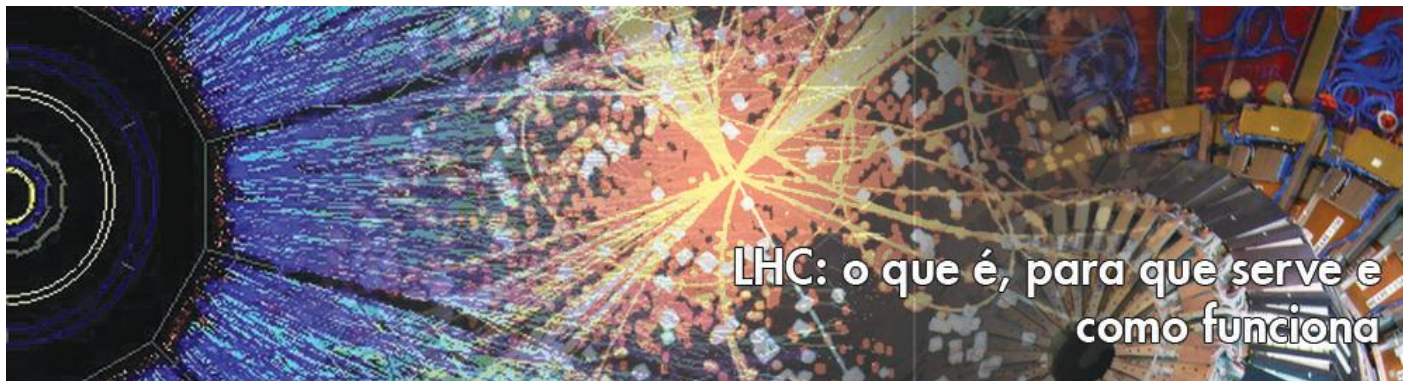
1930 um não conhecia o trabalho do outro, mas após Hubble ter conhecido o trabalho do padre Lemaître, pairava a suspeita que ele tentara obnubilar a divulgação dos resultados deste último.

A suspeita viera do fato que na tradução para o inglês do trabalho do belga Lemaître faltavam várias fórmulas e o trecho em que este falava explicitamente sobre a expansão do universo misteriosamente sumira. Daí para diversas teorias conspiratórias foi um passo.

Mas recentemente, o historiador e astrônomo Mario Livio descobriu uma carta do próprio Lemaître ao editor da renomada revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, onde a tradução aparecera, se identificando como o autor da tradução do artigo. Nesta carta Lemaître justifica o fato de sua tradução para o inglês diferir da versão original de seu artigo porque ele pretendia deixar o assunto da expansão do universo para um artigo posterior, mais detalhado.

Em se tratando de prioridades de descobertas, algo para o qual os cientistas dão grande valor, vemos com esta história que muitas vezes - na maioria das vezes, na verdade - as descobertas não são o trabalho de uma única pessoa. Há todo um contexto, uma confluência de ideias, que levam por diversas vezes pessoas em diferentes lugares às mesmas conclusões. E ela também nos ensina como devemos ter cuidado em fazer julgamentos antes que tenhamos todos os fatos claramente expostos. A transparência nos métodos e resultados é uma das condições fundamentais para se fazer ciência.

Do editor



LHC: o que é, para que serve e como funciona

Uma discussão presente de modo bastante atual na área de ensino de física está relacionada à importância da inserção de temas mais atuais de física nas aulas dessa disciplina no Ensino Médio [1,2].

Nesse sentido, sabemos que, em física, um dos maiores e mais importantes centros de pesquisa da atualidade é a Organização Européia para Pesquisa Nuclear, conhecida como CERN, onde se encontra o LHC (*Large Hadron Collider*, em português, *Grande Colisor de Hádrons*). Desse colisor podem vir importantes contribuições para a confirmação de teorias já existentes e/ou construção de outras no que diz respeito aos conhecimentos necessários para a compreensão tanto do mundo subatômico como da origem e formação do Universo.

Objetivos

A partir dos cursos e visitas técnicas que realizamos no CERN por conta de nossa participação na *Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa 2010*, explicaremos o que é, para que serve e como funciona o LHC, além de descrevermos os experimentos que aí são realizados e o tipo de física que se faz a partir desse colisor. Pensamos ser esta uma forma de fazer chegar aos professores de física do Ensino Médio e, por intermédio deles, aos alunos, um pouco mais de conhecimento sobre o principal centro de pesquisa do mundo em física de partículas (ver Ref. [3]) na atualidade.

Devido à extensão deste artigo, não será possível realizar uma revisão de conhecimentos de física de partículas e do modelo padrão das partículas elementares,

necessários à completa compreensão dos assuntos aqui tratados. Contudo, sempre que citarmos algum aspecto dessas teorias, procuraremos informar, através de referências bibliográficas acessíveis a professores de Ensino Médio, fontes complementares de explicações sobre o tema.

LHC: a física que dá sentido à sua construção e seus objetivos

Sabemos que as partículas que constituem a matéria e que são responsáveis por mediar as interações fundamentais da

natureza são tão infinitamente pequenas que é impossível observá-las com um microscópio, pois suas dimensões são muito menores do que o comprimento de onda da luz visível. Essa explicação foi elaborada no início do século XX, quando

descobriu-se que essas partículas em movimento podem se comportar como ondas em determinados experimentos (dualidade onda-partícula, ver Ref. [4]) e que os comprimentos de onda dessas partículas tornam-se menores com o aumento da energia. Isso significa que, para estudar detalhes na escala de um bilhão de vezes menor que o visível, precisamos dar às partículas energias um bilhão de vezes maiores do que as energias típicas do mundo macroscópico. Este constitui o princípio básico de como um acelerador pode ser usado para medir o mundo subatômico. Nessa escala de tamanho, “ver” significa detectar um sinal, observar um rastro luminoso, medir a energia. Assim, os aceleradores são usados para aumentar a energia das partículas antes da colisão e, desse modo, tornar os resultados visíveis indiretamente usando detectores.

As partículas são aceleradas no LHC

.....
Marta Maximo Pereira

Centro Federal de Educação
 Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
 (CEFET/RJ), Unidade de Ensino
 Descentralizada de Nova Iguaçu
 Nova Iguaçu, RJ, Brasil
 E-mail: martamaximo@yahoo.com

.....

Este trabalho tem por objetivo explicar o que é, para que serve e como funciona o LHC (Grande Colisor de Hádrons), assim como descrever os experimentos que aí são realizados e o tipo de física se faz a partir desse colisor. O LHC situa-se no CERN (Organização Européia para Pesquisa Nuclear), um dos maiores e mais respeitados centros de pesquisa do mundo em física na atualidade. Este artigo é fruto de nossa participação na *Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa 2010*, realizada com a participação de professores de Ensino Secundário de Portugal, Cabo Verde, Moçambique e São Tomé e Príncipe e de professores brasileiros do Ensino Médio. Pretendemos esclarecer questões de interesse sobre o LHC, a fim de auxiliar na formação de docentes em física contemporânea e de possibilitar que, por meio deles, a física do século XXI chegue aos alunos de Ensino Médio não só pelos meios de comunicação de massa, mas na forma de conhecimento cientificamente construído em sociedade.

com velocidades que correspondem a cerca de 99,9999991% da velocidade da luz no vácuo. Fenômenos que ocorrem nessa magnitude de velocidade são explicados pela relatividade especial de Einstein (ver Ref. [4]), segundo a qual tempo e espaço não são absolutos, ou seja, a medida de cada uma dessas grandezas é diferente quando realizada em dois referenciais distintos. Uma das implicações desse fato é o fenômeno da dilatação temporal: quando algo se move com velocidade próxima à da luz, seu tempo parece passar mais devagar. Este efeito é desprezível em velocidades cotidianas, mas, para uma partícula viajando quase à velocidade da luz, o tempo passa devagar o suficiente para que ela vá muito mais longe do que era esperado e possa ser detectada.

Os aceleradores impulsionam feixes de partículas a altas energias antes que eles colidam uns com os outros ou com alvos estacionários. As partículas resultantes de um evento de colisão deixam um rastro e depositam energia em um detector. O estudo dessas colisões é o principal objetivo do LHC, que foi projetado para encontrar evidências que permitam esclarecer as seguintes questões:

- a) A origem da massa das partículas elementares (ver *bóson de Higgs* na Ref. [5]);
- b) A expansão acelerada do universo (ver *energia escura* na Ref. [6]);
- c) A discrepância entre as medidas de massa de galáxias, aglomerados de galáxias e de todo o universo feitas com instrumentos e medições com base na massa da matéria visível que estes objetos contêm (ver *matéria escura* nas Refs. [5-6]);
- d) A existência de supersimetrias (ver Ref. [7]).

LHC: estrutura geral e funcionamento

O LHC foi construído no CERN com o objetivo de possibilitar que colisões entre partículas aconteçam a energias extremamente elevadas, nunca antes atingidas pelos colisores que até então existiam. Ele se situa em um túnel circular de 27 km de circunferência a cerca de 50 a 75 m abaixo do solo, na fronteira entre a França e a Suíça. O LHC foi projetado especificamente para colidir dois feixes de prótons um contra o outro ou dois feixes de íons pesados um contra o outro.

As colisões próton-próton estão previstas para que aconteçam em uma energia máxima de 7 TeV por feixe. Em 30 de março de 2010 ocorreram as primeiras colisões com energia igual a 3,5 TeV por feixe [8]. Tais feixes se movem dentro do anel do LHC guiados por ímãs, que geram

um campo magnético capaz de alterar a trajetória do feixe, encurvando-o e fazendo-o percorrer toda a circunferência do anel. Esses ímãs são supercondutores à baixa temperatura, assim como os cabos por onde circula a corrente, a qual flui praticamente sem nenhuma resistência. Por isso, todo o anel do LHC é refrigerado por um grande sistema de criogenia a uma temperatura próxima a 4,5 K [9].

Como a dissipação é praticamente nula por conta da baixíssima temperatura em que o LHC se encontra, os feixes são armazenados a altas energias por horas. Alguns bilhões de prótons, cada um deles com velocidade igual a 99,9999991% da velocidade da luz, percorrem o anel do LHC 11000 vezes por segundo, gerando um bilhão de colisões por segundo e recriando, em pequena escala, as condições de uma fração de segundo após o *big bang*, a fim de que se possa compreender por

que o Universo é como hoje se apresenta.

LHC: aceleradores e principais experimentos

Para acelerar as partículas antes da colisão, há no LHC aceleradores do tipo LINAC (*Linear Particle Accelerator*, em português, *Acelerador de Partículas Linear*), que, como seu nome indica, acelera as partículas de modo retilíneo, e também o PS (*Proton Synchrotron*, em português, *Síncrotron de Prótons*), que aumenta a velocidade de partículas subatômicas eletricamente carregadas ou íons de forma que descrevam uma trajetória circular ao serem aceleradas (veja as Figs. 1 e 2, respectivamente).

Para investigar os objetivos de pesquisa do LHC, há atualmente quatro experiências principais em funcionamento, a saber: ATLAS, CMS, LHCb e ALICE. A seguir explicaremos em que consiste cada uma delas.



Figura 1 - Foto do LINAC 2 (Acelerador de Partículas Linear).



Figura 2 - Foto do PS (Síncrotron de Prótons).

ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*, em português, *Experiência do Grande Colisor de Íons*) é um detector construído para o estudo da colisão entre íons pesados (veja a Fig. 3). Colisões de núcleos de chumbo são estudadas com energia do centro de massa de 2,76 TeV por núcleo. Além disso, pretende-se que sejam estudados também os hádrons, elétrons, múons e fótons [5] produzidos nas colisões dos íons pesados. Espera-se que a temperatura resultante e a densidade de energia após as colisões sejam grandes o suficiente para gerar o plasma de quarks e glúons, uma fase da matéria em que quarks (partículas elementares que formam, por exemplo, os prótons e nêutrons) e glúons (partículas mediadoras da interação forte, ver Ref. [10]) estão confinados. A existência dessa fase e suas propriedades são fundamentais para o desenvolvimento da *cro-modinâmica quântica* (QCD, sigla em inglês para *Quantum Chromodynamics* [5]), teoria que explica a interação forte (interação que mantém prótons e nêutrons dentro do núcleo atômico [11]).

ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*, em português, *Aparato Toroidal do LHC*) é um detector onde feixes de prótons colidem com energia do centro de massa de até 7 TeV (veja a Fig. 4). Os objetivos do detector ATLAS são: procurar o bóson de Higgs, partículas supersimétricas, dimensões extras e buracos negros; investigar por que a matéria do Universo é dominada por um tipo desconhecido de matéria, a matéria escura; redescobrir o quark

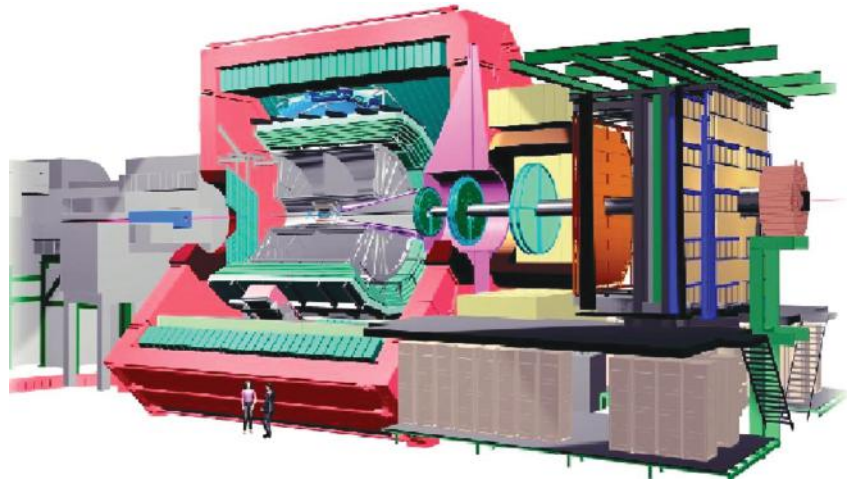


Figura 3 - Desenho esquemático do ALICE (em escala).

top e pela primeira vez estudá-lo com precisão; realizar medidas mais precisas para completar o modelo padrão, como as da massa e do tamanho do bóson *W* (uma das partículas mediadoras da interação fraca, ver Ref. [10]).

CMS (*Compact Muon Solenoid*, em português, *Solenóide Compacto de Múons*) é um detector de múons que permite também detecções de fótons, elétrons e hádrons e, pelas suas pequenas dimensões em comparação com o seu peso (daí o nome “compacto”), a identificação de neutrinos [5]. O solenóide do CMS é uma bobina de fio supercondutor que cria um campo magnético cerca de 100.000 vezes maior que o da Terra.

O detector do CMS atua como um grande filtro em forma de “cebola cilín-

drica” (veja a Fig. 5), pois é constituído de distintas camadas, cada uma projetada para parar e detectar os diferentes tipos de partículas mencionados acima, que podem emergir das colisões próton-próton e entre íons pesados. CMS foi projetado para medir propriedades de partículas previamente conhecidas com uma precisão sem precedentes e também está à procura de fenômenos completamente novos e imprevisíveis.

LHCb (*Large Hadron Collider beauty*), onde *beauty* se refere ao quark *bottom* (quark *b*), é um experimento desenvolvido para medidas precisas da violação de simetria CP (simetria de carga e paridade, ver Ref. [5]) e para o estudo de decaimentos raros de mésons com os quarks *b*

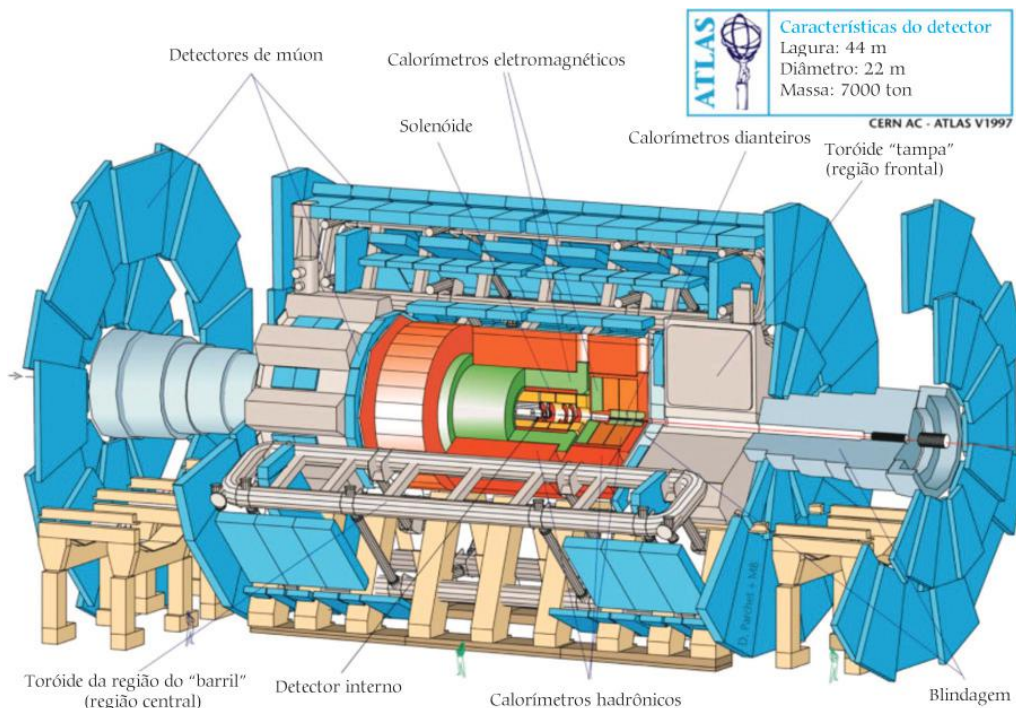
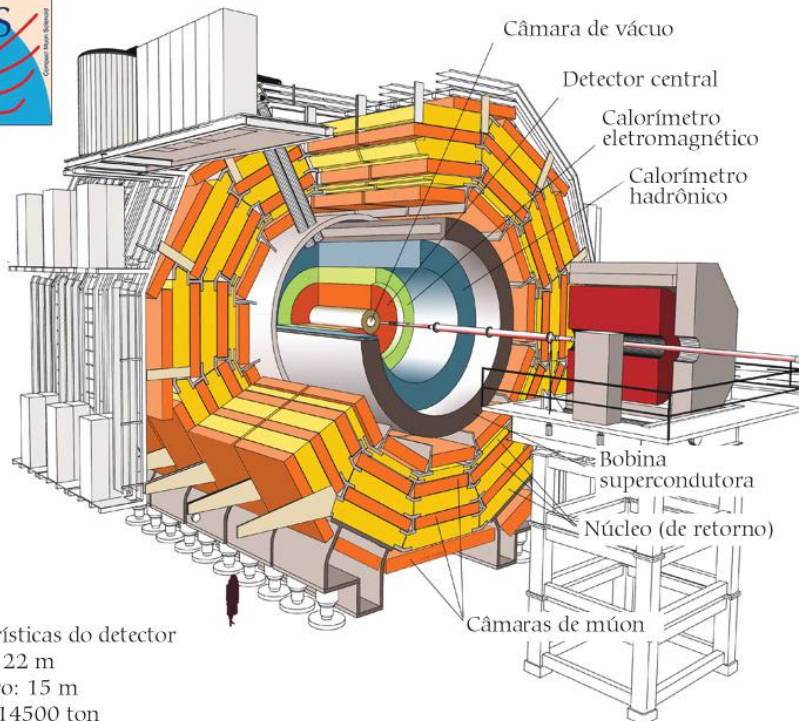


Figura 4 - Desenho esquemático do ATLAS (em escala).

e anti- b , um conjunto conhecido por méson b [10]. Esse detector foi especificamente projetado (veja Fig. 6) para *recolher* estas partículas e o produto do seu decaimento. Ele estende-se por 20 m ao longo do tubo do LHC, com os seus subdetectores dispostos um ao lado do outro, diferentemente do CMS.

Cada um dos sub-detectores do LHCb é especializado na medição de uma característica diferente das partículas produzidas

pela colisão de prótons. Coletivamente, os componentes do detector são capazes de reunir informações sobre a identidade, a trajetória, o momento e a energia de cada partícula gerada e podem também identificar partículas individualmente entre as bilhões que emergem a partir do ponto de colisão [12]. Essa detecção pode ser feita considerando-se o fenômeno da dilatação temporal, consequência da relatividade especial de Einstein, confor-



Características do detector
Largura: 22 m
Diâmetro: 15 m
Massa: 14500 ton

Figura 5 - Desenho esquemático do CMS (em escala).

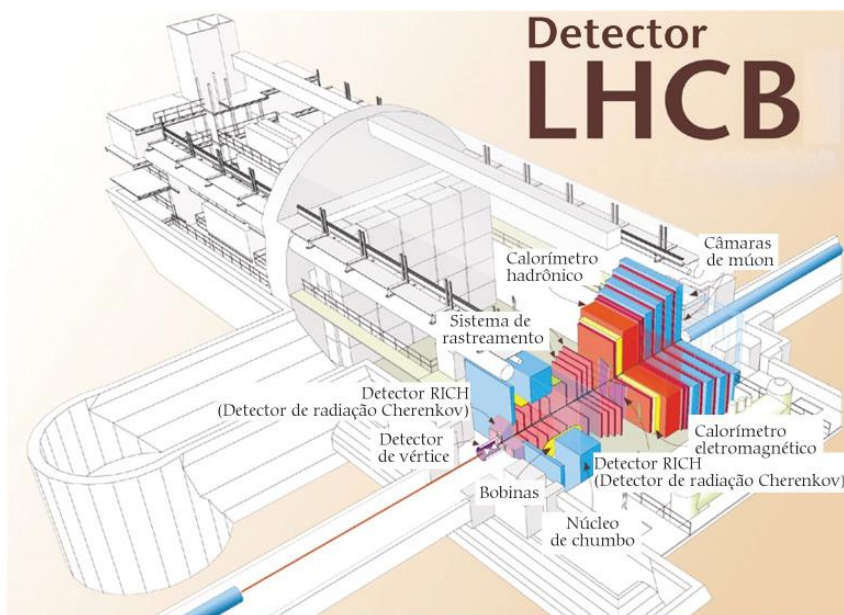


Figura 6 - Desenho esquemático do LHC-b (em escala).

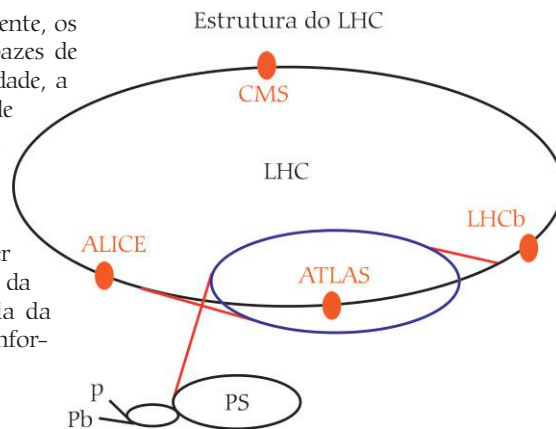


Figura 7 - Detectores e aceleradores ao longo do anel do LHC. Na imagem, p e Pb indicam os LINACs 2 e 3, respectivamente.

me explicado anteriormente neste trabalho. Esse efeito permite detectar o quark b , que se deteriora após apenas um picossegundo (um trilionésimo de segundo). A baixas velocidades, ele decai rapidamente e não viaja o bastante ao longo do detector para que possa ser observado. No entanto, quando acelerada até perto da velocidade da luz, a partícula percorre alguns milímetros extras, o suficiente para que o detector seja capaz de detectá-la.

Na Fig. 7, podemos observar a localização dos detectores e aceleradores ao longo do LHC.

Conclusões

Os conhecimentos difundidos neste artigo sobre a estrutura e o funcionamento do LHC visam ajudar professores de Ensino Médio a terem contato com questões relativas à física contemporânea de forma mais acessível e próxima a sua realidade. Recomendamos fortemente que as referências de aprofundamento sugeridas sejam acessadas para uma maior compreensão dos temas aqui mencionados. Esperamos que este intrigante mundo da física de partículas seja apresentado pelo professor também aos estudantes de Ensino Médio, despertando neles o gosto e o interesse pela ciência.

Agradecimentos

Agradecemos à Secretaria para Assuntos de Ensino da SBF (Sociedade Brasileira de Física), ao CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), ao Departamento de Educação Básica da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia do MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia), sem os quais nossa ida ao CERN e, conseqüentemente, a escrita deste artigo, não teria sido possível.

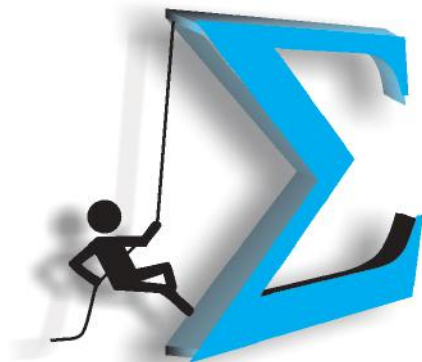
Referências

- [1] M.D. Borges, F. Ostermann e M.A. Moreira, in: *Anais do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Curitiba, 2003).
- [2] M.A. Monteiro e R. Nardi, in: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte, 2007).
- [3] M.C.B. Abdalla, *Física na Escola* **6**(1), 38 (2005).
- [4] M. Nussenzweig, *Curso de Física Básica: Ótica Relatividade Física Quântica* (Edgard Blücher, São Paulo, 1998).
- [5] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 10 (2009).
- [6] R. Rosenfeld, *Física na Escola* **6**(1), 31 (2005).
- [7] J. A. Helayël-Neto, *Física na Escola* **6**(1), 45 (2005).
- [8] <http://lhcb-machine-outreach.web.cern.ch/lhcb-machine-outreach/>, acesso em 2/10/2010.
- [9] <http://lhcb-machine-outreach.web.cern.ch/lhcb-machine-outreach/components/lhcb-manufacturing.htm>, acesso em 2/10/2010.
- [10] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 161 (2007).
- [11] M.A. Moreira, *Física na Escola* **5**(2), 10 (2004).
- [12] <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/Detector-en.html>, acesso em 2/10/2010.
- ATLAS: <http://atlas.ch/>
ALICE: <http://aliceinfo.cern.ch/Collaboration/index.html>
CMS: <http://cms.web.cern.ch/cms/index.html>
LHC-b: <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb/>
Os desenhos esquemáticos dos experimentos deste artigo foram extraídos de <http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=12&resId=0&materialId=slides&confId=105483>, com tradução da autora.

Trabalhos relacionados

- E. Gama e M.F. Barroso, *Física na Escola* **10**(2), 32 (2009).
- M. Maximo Pereira, in: *Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Manaus, 2011).

Desafios

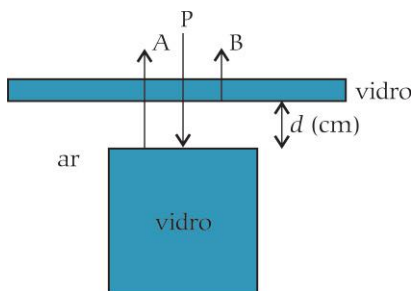


Problemas Olímpicos

Soluções dos problemas do número anterior

1 Interferência construtiva em um sistema constituído por uma película fina de vidro mantida sobre um cubo de vidro com uma separação d entre eles quando atravessado por ondas eletromagnéticas.

Considere uma onda plana propagando na direção representada por P. Parte desta onda será transmitida pela lâmina, parte será refletida pela superfície do cubo (A) e parte refletida pela superfície inferior da lâmina (B).



Do princípio da reflexão, quando um feixe de luz é refletido na fronteira de separação de dois meios de baixa densidade e alta densidade, o feixe de luz reflete para o meio de baixa densidade com uma mudança de fase de 180° , correspondendo a uma distância de $\lambda/2$. Isso é o que acontece com o raio A, enquanto o raio B, que é refletido na superfície inferior da lâmina, não sofre qualquer mudança de fase. A condição para que o raio A refletido na superfície superior do cubo e o raio B refletido na superfície inferior da lâmina interfiram construtivamente é que ambos os raios tenham a mesma fase. Do diagrama, o raio A viaja uma distância de ida e volta de $2d$ dentro da camada de ar. Ao atingir a superfície inferior da lâmina de vidro, este raio deve estar em fase com o raio B, ou seja $2d = (2n_1 + 1)\lambda_1/2$, sendo n_1 um inteiro, $n_1 = 0, 1, 2, 3, \dots$. Do problema, $\lambda_1 = 0.4 \mu\text{m}$, então $2d = (2n_1 + 1)0.2$. Para o segundo comprimento de onda,

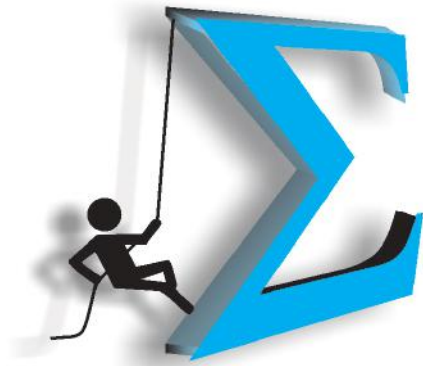
$2d = (2n_2 + 1)\lambda_2/2$, $n_2 = 0, 1, 2, 3, \dots$. Substituindo uma na outra, resulta

$$\lambda_2 = \frac{2n_1 + 1}{2n_2 + 1}$$

Com a informação dada pelo problema, $0.2 < \lambda_2 < 1.15 \text{ mm}$. Substituindo valores para n_1 e n_2 observamos que para $n_1 = 2$ e $n_2 = 1$ resulta em $\lambda_2 = 0.67 \mu\text{m}$, que satisfaz a condição imposta.

2 Determinação da massa do átomo de hidrogênio a partir da estrutura cristalina do cloreto de sódio, NaCl, que tem estrutura cúbica de face centrada.

Cada átomo no vértice do cubo contribui com $1/8$ de átomo, enquanto um átomo na face do cubo contribui com $1/2$. Assim, o número de átomos de Na em um cubo elementar será $(1/8).8 + (1/2).6 = 4$ átomos de Na. Se m é a massa de um núcleo ou H, expresso em gramas, a densidade do cristal de NaCl será

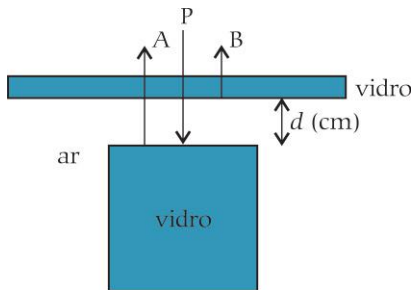


Problemas Olímpicos

Soluções dos problemas do número anterior

1 Interferência construtiva em um sistema constituído por uma película fina de vidro mantida sobre um cubo de vidro com uma separação d entre eles quando atravessado por ondas eletromagnéticas.

Considere uma onda plana propagando na direção representada por P. Parte desta onda será transmitida pela lâmina, parte será refletida pela superfície do cubo (A) e parte refletida pela superfície inferior da lâmina (B).



Do princípio da reflexão, quando um feixe de luz é refletido na fronteira de separação de dois meios de baixa densidade e alta densidade, o feixe de luz reflete para o meio de baixa densidade com uma mudança de fase de 180° , correspondendo a uma distância de $\lambda/2$. Isso é o que acontece com o raio A, enquanto o raio B, que é refletido na superfície inferior da lâmina, não sofre qualquer mudança de fase. A condição para que o raio A refletido na superfície superior do cubo e o raio B refletido na superfície inferior da lâmina interfiram construtivamente é que ambos os raios tenham a mesma fase. Do diagrama, o raio A viaja uma distância de ida e volta de $2d$ dentro da camada de ar. Ao atingir a superfície inferior da lâmina de vidro, este raio deve estar em fase com o raio B, ou seja $2d = (2n_1 + 1)\lambda_1/2$, sendo n_1 um inteiro, $n_1 = 0, 1, 2, 3, \dots$. Do problema, $\lambda_1 = 0.4 \mu\text{m}$, então $2d = (2n_1 + 1)0.2$. Para o segundo comprimento de onda,

$2d = (2n_2 + 1)\lambda_2/2$, $n_2 = 0, 1, 2, 3, \dots$. Substituindo uma na outra, resulta

$$\lambda_2 = \frac{2n_1 + 1}{2n_2 + 1}$$

Com a informação dada pelo problema, $0.2 < \lambda_2 < 1.15 \text{ mm}$. Substituindo valores para n_1 e n_2 observamos que para $n_1 = 2$ e $n_2 = 1$ resulta em $\lambda_2 = 0.67 \mu\text{m}$, que satisfaz a condição imposta.

2 Determinação da massa do átomo de hidrogênio a partir da estrutura cristalina do cloreto de sódio, NaCl, que tem estrutura cúbica de face centrada.

Cada átomo no vértice do cubo contribui com $1/8$ de átomo, enquanto um átomo na face do cubo contribui com $1/2$. Assim, o número de átomos de Na em um cubo elementar será $(1/8).8 + (1/2).6 = 4$ átomos de Na. Se m é a massa de um núcleo ou H, expresso em gramas, a densidade do cristal de NaCl será

$$\frac{4 \times 23 \times m + 4 \times 35.5 \times m}{(5.6 \times 10^{-8})^3} = 2.2 \text{ g/cc.}$$

Existem 23 H1 ou 23 núcleons em um átomo de Na e 35 H ou núcleons em uma átomo de Cl, e então

$$\frac{4 \times 58.5 \times m}{(5.6 \times 10^{-8})^3} = 2.2,$$

ou $m = 1.65 \times 10^{-24} \text{ g.}$

3 Determinação do potencial de uma casca esférica externa de raio R contendo em seu interior outra casca esférica de raio r .

Do diagrama temos dois capacitores ligados em paralelo. A esfera exterior e o aterramento funciona como as duas placas do capacitor, e as duas esferas como o outro capacitor. As capacitâncias de cada capacitor são dadas por $C_1 = R/k$, para o primeiro, e $C_2 = rR/(k(R-r))$. Como estão em paralelo a capacitância resultante será $C = C_1 + C_2 = R^2/(k(R-r))$. Substituindo os valores e lembrando que $V = Q/C$, resulta em $V = 227 \text{ V.}$

4 Determinação da pressão e da temperatura do gás hidrogênio contido no espaço no topo do tubo de um aparelho de Torricelli.

Vamos resumir todas as informações na Tabela 1.

A pressão do ar é medida através do comprimento da coluna de mercúrio dentro do tubo e expresso em unidades de cm Hg. O volume do gás hidrogênio é medido através do comprimento da coluna no espaço no topo do tubo de vidro e expresso em cm. Seja L (em cm) o comprimento do tubo de vidro acima do nível de mercúrio no cilindro. Aplicando a lei de Boyle nos estágios I e II temos

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_1 = P_{H1} = (100 - 70) \text{ cm Hg}$$

e

$$P_2 = P_{H2} = (60 - 40) \text{ cm Hg}$$

$$V_1 = V_{H1} = (L - 70) \text{ cm}$$

e

$$V_2 = V_{H2} = L - 40 \text{ cm}$$

Resolvendo para L , obtemos $L = 130 \text{ cm,}$

e portanto

$$V_{H1} = 60 \text{ cm,}$$

$$V_{H2} = 90 \text{ cm,}$$

$$V_{H3} = 80 \text{ cm}$$

e

$$V_{H4} = 85 \text{ cm.}$$

Vejam as mudanças nos estágios II e III: a partir da equação de estado $V_2 P_2 / T_2 = V_3 P_3 / T_3$, temos que

$$V_2 = V_{H2} = 90 \text{ cm,}$$

$$P_2 = P_{H2} = 60 - 40 = 20 \text{ cm,}$$

$$T_2 = 273 \text{ K}$$

$$V_3 = 130 - 50 = 80 \text{ cm,}$$

$$P_3 = P_{H3} = P_{A3} - 50 \text{ cm Hg}$$

e

$$T_3 = ?$$

Para os estágios III e IV

$$V_3 P_3 / T_3 = V_4 P_4 / T_4$$

$$P_3 = P_{H3} = P_{A3} - 50 \text{ cm Hg,}$$

$$V_3 = V_{H3} \text{ cm,}$$

$$T_3 = ?$$

$$P_4 = P_{H4} \text{ cm Hg,}$$

$$V_4 = V_{H4}$$

e

$$T_4 = ?$$

Substituindo na equação de estado resulta

$$\frac{80(P_{A3} - 50)}{T_3} = \frac{(P_{A3} - 45).75}{T_4}.$$

Para os estágios II e IV (volume constante), como $P_2/T_2 = P_4/T_4$, substituindo resulta

$$P_{A3} = \frac{60}{273} T_3.$$

Substituindo nas equações acima obtemos $T_3 = 364 \text{ K, } P_{H4} = 35 \text{ cm Hg e } T_4 = 451 \text{ K. Assim, no estágio final, a pressão e temperatura do gás hidrogênio serão } 35 \text{ cm Hg e } 451 \text{ K, respectivamente.}$

Tabela 1 - Resumo das informações do problema.

	I	II	III	IV
Pressão do gás hidrogênio	P_{H1}	P_{H2}	P_{H3}	P_{H4}
Volume do gás hidrogênio	V_{H1}	V_{H2}	V_{H3}	V_{H4}
Pressão do ar	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}
Volume do ar	V_{A1}	V_{A2}	V_{A3}	V_{A4}
Temperatura comum da mistura	T_1	T_2	T_3	T_4

Problemas Olímpicos

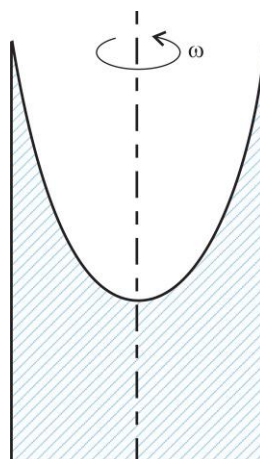
Novos problemas

(Problemas extraídos dos livros *Problems in Theoretical Physics* e *Problemas Seleccionados de Física Elementar*)

1 Uma barra homogênea, de comprimento L e massa m , gira com uma velocidade angular ω , em um plano horizontal, em redor do eixo que passa pelo seu extremo. Encontre a tensão da barra na distância x do seu eixo de rotação.

2 Pode uma partícula retornar para sua posição inicial se ela se move aleatoriamente para pontos adjacentes de uma rede bi-dimensional quadrada? Se não, qual é a probabilidade dela não retornar ao ponto inicial?

3 Um vaso cilíndrico com líquido gira com velocidade angular ω , em redor de um eixo vertical (ver figura). Determine a variação da pressão na seção horizontal do recipiente em função da distância do eixo de rotação.



4 No fundo de um recipiente amplo existe um tubo fino, pelo qual a água, que enche o recipiente, pode sair (ver figura). Entre o recipiente e o tubo colocou-se uma rede. Se uma bola leve for colocada no fundo do recipiente, então a bola não flutuará. Se pararmos o movimento da água do tubo, então, a bola imediatamente flutua. Por que? (esta experiência pode ser comprovada, facilmente, em uma pia de cozinha utilizando bolas de tênis de mesa).

