

Carta do Editor

Esta edição retorna a seção Carta dos Leitores, que esteve ausente nessa nova fase da FnE. Trata-se de um instrumento de comunicação essencial ao permitir a interação do leitor com a revista ao expor seu ponto de vista sobre temas abordados, propor discussões, apresentar sugestões e fazer críticas, elogios e reclamações. Aqui, Marcel Novaes traz uma reflexão curta sobre determinismo e aleatoriedade com analogias entre a visão estatística da mecânica e a visão de sociedade. São muito bem-vindas as cartas ao Editor.

Tratamos, nesse número, da educação inclusiva que é tema do XXIII SNEF a ser realizado em Salvador, em janeiro de 2019. Há dois artigos que apresentam material didático para deficientes visuais e videntes que facilitam a aprendizagem de astronomia e óptica de deficientes visuais. Um deles descreve o material produzido por um grupo de professores e alunos do IFSC-USP, UFSCar, e Unesp (confira a lista de autores) para a exposição “Luz ao alcance de todos” que contém recursos táteis para explicar fenômenos da óptica e que podem ser desenvolvidos por professores no ensino inclusivo de física. Samara Azevedo, Delson Schramm e Marcelo Souza sugerem a construção de duas maquetes táteis para serem utilizadas em sala de aula para tratar do modelo geocêntrico e do modelo heliocêntrico.

O movimento cubista tem sido relacionado, em geral, a aspectos da relatividade

geral. Por exemplo, o historiador Arthur Miller explora as novas concepções de espaço e tempo e a introdução da geometria na arte em sua biografia paralela *Einstein and Picasso: Two Worlds as One*. No entanto, Jakelyne Reis, Indianara Silva e Andrade-Neto retomam a relação entre ciência e arte, sempre presente na FnE, por meio de uma proposta didática que visa aproximar a relatividade restrita do movimento cubista nas aulas de física.

A história no ensino de física, tema recorrente nesta revista, aparece em dois artigos. O primeiro, de Ingrid Pinto e Ana Paula Bispo, discute o papel de Sadi Carnot e as transformações sociais, alertando que as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade devem ser exploradas no ensino das leis da termodinâmica, que, em geral, são apresentadas em livros didáticos de forma descontextualizada. No segundo, de Ronaldo de Oliveira e Márcia Pereira, é proposta a realização de atividade experimental para o aluno determinar experimentalmente a lei de Coulomb usando um aparato histórico do século XVI, o versório de Gilbert.

À guisa de complementação, sugiro a leitura do livro de André Assis, *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade* (Apeiron, 2010).

Metodologias inovadoras e o uso de tecnologias na ensinagem de física estão presentes neste número. O método de Instrução Pelos Colegas (*Peer Instruction*) apresentado ao leitor brasileiro no seminal artigo de Ives Araújo e Eric Mazur, no

CBEF (2013), foi usado por Wagner Jardim, Mary Anne da Silva e Marina Barros para ensinar interferência e difração na mesma linha dos trabalhos do Grupo de Ensino de Física do IF-UFRGS. Tiago Ribeiro, Clarice Senra e Mateus Resende propõem o uso do conhecido *software Audacity*, um programa de gravação e edição de áudio, em uma série de atividades para a ensinagem de conceitos de ondas sonoras como intensidade e altura do som, interferência construtiva e interferência destrutiva e ressonância.

Uma área de conhecimentos interdisciplinares ainda pouco conhecida do professor de física, a astrogeologia, divulgada por Bruno Nascimento-Dias neste número, pode contribuir para despertar a curiosidade os alunos sobre questões como a origem da vida na Terra, a possível existência de vida em Marte, a possibilidade de que meteoritos possam dar pistas acerca de nossas origens, entre outras instigantes questões. Na linha de popularização da ciência, Artur Galamba divulga o vasto trabalho humanista do professor de física e química português Rómulo de Carvalho, que numa época de repressão fascista escreveu livros de divulgação da ciência e que com o pseudônimo de Antônio Gedeão comunicou conhecimento por meio da poesia.

Na seção Faça Você Mesmo, Francisco Catelli Gabriele Molon e Laurete Zanol Sauer revisitam o simples e interessante experimento-desafio proposto por Helder de Fiqueredo e Paul no site Ponto Ciência apresentando mais detalhes sobre a confecção do dispositivo para mostrar como é possível manter um balão inflado mesmo com a entrada de ar aberta. O objetivo é discutir os conceitos como pressão e equilíbrio de pressões.

A seção Carta dos Leitores é um instrumento de comunicação essencial ao permitir a interação do leitor com a revista ao expor seu ponto de vista sobre temas abordados, propor discussões, apresentar sugestões e fazer críticas, elogios e reclamações

Carta dos Leitores

De Relógios e Perfumes

Em 1687, Isaac Newton publicou *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, obra na qual estabeleceu sua teoria sobre as leis que regem o movimento dos corpos, incluindo a lei da gravitação universal. O impacto de suas ideias foi imenso. A lei da gravitação explicava não só o fenômeno cotidiano da queda dos corpos, mas também as marés e as próprias órbitas celestes. Newton apresentava um universo inteiramente determinístico e revelava, por trás das eventuais aparências caóticas, um conjunto pequeno de regras de funcionamento que eram de fácil compreensão.

A doutrina do determinismo encontrou sua expressão mais eloquente nas palavras do Marquês de Laplace que, em 1814, escreveu: “Podemos considerar o presente estado do universo como resultado de seu passado e a causa de seu futuro. Se um intelecto em certo momento tiver conhecimento de todas as forças que colocam a natureza em movimento e da posição de todos os itens dos quais a natureza é composta, e se esse intelecto for poderoso o bastante para submeter tais dados à análise, ele conterá numa única fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e também os do átomo mais diminuto; para tal intelecto, nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, estaria ao alcance de seus olhos”.

A imagem que ficou associada a essa visão do mundo é a do relógio: uma *machina mundi* de funcionamento simples, repetitivo, previsível, controlável. Em uma carta a Gottfried Leibniz, o filósofo britânico Samuel Clarke afirmou que “A ideia do mundo como uma grande máquina, que se move sem a interferência de Deus, como um relógio que continua funcionando sem a assistência do relojoeiro, é a ideia do materialismo e do destino”.

À parte as reverberações teológicas, a abordagem newtoniana influenciou profundamente os pensadores do século XVIII, em particular Voltaire, que era um admirador entusiasmado. Não demorou para que aquele paradigma de explicação fosse voltado para o estudo da sociedade. Era preciso descobrir as leis simples e determinísticas que regulam o comportamento dos homens, revelar a ordem que decerto existia por trás do caos do livre-arbítrio da multidão (caminhando logo atrás dos cientistas sociais vinham os engenheiros sociais, trazendo na pasta as noções subsidiárias de controle, projeto, aperfeiçoamento).

Entretanto, a física não parou com Newton e com a mecânica. Ao longo do século

XIX, na esteira da revolução industrial, era a termodinâmica que se desenvolvia, principalmente a partir do estudo e da utilização de máquinas a vapor. O estudo dos fenômenos térmicos acabou por produzir uma nova visão a respeito da mecânica e do próprio determinismo, principalmente depois dos trabalhos do austríaco Ludwig Boltzmann, do escocês James Maxwell e do americano Josiah Gibbs, que formularam a chamada “mecânica estatística”. Saía de cena o enferrujado relógio newtoniano, dando lugar ao amontoado caótico de átomos invisíveis, em perpétua agitação e ininterruptas colisões, que chamamos “gás”. Em vez de causalidade e regularidade, encontramos imprevisibilidade e probabilidades.

O relógio é monótono. Um mundo povoado por relógios é um mundo rígido, previsível, congelado eternamente em tique-taques metálicos, ao passo que os fenômenos termodinâmicos são irreversíveis: o cubo de gelo que derrete num copo de suco de laranja está perdido para sempre, o perfume que se espalha pela sala ocupa todo o espaço disponível e jamais retornará ao delicado frasco.

A mecânica estatística ensina que é fútil tentar descrever um sistema complexo usando as leis de Newton. Não só porque o intelecto imaginado por Laplace não existe e nunca existirá, mas porque essa realmente não é a melhor abordagem. A insistência no determinismo estaria aí mal colocada. As propriedades que realmente importam nos sistemas termodinâmicos – pressão, temperatura, energia – são mais apropriadamente descritas quando formuladas de modo probabilístico-estatístico.

Assim, a visão de sociedade que se afina com a versão estatística da mecânica não vê um conjunto pequeno de leis simples e inteligíveis, mas uma “sociedade dos indivíduos”, cada um deles seguindo seu próprio caminho, com um número infinito de pequenas colisões ocorrendo a cada momento como fugazes beijos, uma gigantesca sopa caótica de impulsos que nunca poderá ser projetada e controlada.

Uma moça empurra uma caixa de papelão por um corredor. Por que ela faz isso? Não sabemos. O que há na caixa? Talvez livros, talvez roupas. Não importa. Ela empurra a caixa com força, imprimindo-lhe uma velocidade. A caixa arrasta-se pelo chão e acaba parando. Novo empurrão, novo deslizamento, nova parada. A cada vez, a energia cinética fornecida por suas mãos desaparece, convertida pela força de atrito em calor. A energia cinética inicial é organizada: todas as partes da caixa se

movem na mesma direção. A produção de calor é uma produção de desordem: o aumento de temperatura reflete a agitação térmica dos átomos, que passam a se mover aleatoriamente; o movimento organizado se converte em movimento desorganizado.

Compare a descrição acima com este trecho de Tocqueville sobre a sociedade democrática: “Não se luta vantajosamente contra o espírito de seu tempo e de seu país; e um homem, por mais poderoso que o suponhamos, dificilmente faz seus contemporâneos compartilharem dos sentimentos e das ideias que o conjunto dos desejos e sentimentos destes repele. (...) Não que resistam a ele de maneira aberta (...) mas não o seguem. Ao ardor dele opõem em segredo sua inércia; aos instintos revolucionários dele, seus interesses conservadores (...) Ele os levanta um momento com mil esforços, mas logo eles lhe escapam e, como que arrastados por seu próprio peso, tornam a cair.”

A pessoa que empurra a caixa quer que todos os átomos desta se movam na mesma direção. Eles se recusam. Tendem naturalmente à aleatoriedade. A seu ardor, opõem inércia. Ela os empurra com mil esforços, eles tornam a se dispersar.

Se encerrássemos agora, faltaria mencionar a derradeira mudança havida na abordagem da física em relação ao movimento. Afinal, quem neste mundo nunca ouviu falar da teoria quântica? O que há de novo aqui é que as partículas de matéria são indecisas, hesitantes, reservadas. Tomamos dois elétrons iguais em situações iguais e, ainda assim, eles se comportam de maneiras diferentes. Um deles se decide por isto, outro por aquilo. O que faz uma escolha hoje, fará outra amanhã. Cada um deles, não só a multidão caótica, é inconstante e imprevisível.

Em nossa analogia, talvez isso corresponda a considerar uma dimensão psicológica. Os seres humanos, assim como os elétrons, trazem dentro de si tendências conflitantes e profundas incoerências. A visão de sociedade que se afina com a mecânica quântica vê pessoas que não têm suas trajetórias determinadas de antemão, que não respondem a estímulos de forma automática, mas que, ao contrário, estão a todo momento se debatendo com decisões que só chegam a tomar no último instante, que talvez se surpreendam consigo mesmas. Como disse o poeta Antonio Machado, “*Caminante, no hay camino / se hace camino al andar*”.

Marcel Novaes
Universidade Federal de Uberlândia



Teoria da relatividade restrita e cubismo no ensino médio: Uma proposta didática de aproximação entre duas culturas

Jakelyne Reis

Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil

E-mail: jakelyne.lima@gmail.com

Indianara Silva

Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil

A.V. Andrade-Neto

Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brasil

Introdução

Você já pensou em utilizar uma ponte entre física e arte para discutir tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) na sua sala de aula? Ou melhor, seria possível fazer uma aproximação entre a cultura da teoria da relatividade restrita (TRR) e a do movimento cubista para ser discutida na educação básica? Apresentamos aqui uma proposta didática cuja finalidade é justamente a de possibilitar uma aproximação entre a cultura científica da TRR e a artística do movimento cubista, a partir da qual seja possível explorar as suas novas visões de mundo. De um lado, com o desenvolvimento em 1905 da TRR por Albert Einstein, as noções sobre espaço e tempo na física foram modificadas significativamente. De outro lado, no mesmo período, o cubismo revolucionava o espaço pictórico canônico. Nossa ideia é explorar os dois temas - frutos de um mesmo momento histórico de transformações, rupturas e revoluções, o início do século XX - no que se refere à questão do espaço-tempo da TRR e à do espaço pictórico do movimento cubista a partir de uma perspectiva histórica e conceitual. Com isso, acreditamos que seja possível motivar estudantes a discutirem tanto FMC quanto arte, contribuindo, assim, para algum ganho intelectual e cultural.

Tanto a LDB quanto os PCNs recomendam fortemente a inserção de FMC na educação básica, bem como a necessidade de um ensino contextual e interdisciplinar [1, 2]. Mesmo estando na legislação da educação brasileira, há poucos professores ensinando efetivamente aspectos mais

modernos de ciência e tecnologia. Em uma revisão da literatura, por exemplo, constatamos que nos últimos 15 anos, de um total de 42 artigos sobre TRR, apenas cinco foram levados realmente para o nível médio e, dentre eles, nenhum abordou FMC e arte [3-7].

Nossa proposta é então uma forma de disponibilizar recursos didático-pedagógicos para o professor de física utilizar no seu contexto educacional, incentivando, assim, a inclusão de tópicos de FMC no Ensino Médio.

Relatividade restrita e cubismo: duas culturas e uma proposta didática¹

Essa proposta didática foi construída para ser aplicada em uma turma de 3ª série do Ensino Médio, por meio de oito encontros. Utilizamos os três momentos pedagógicos de Angotti e Delizoicov, a saber, problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento para estruturar o nosso planejamento. A problematização

inicial é o momento em que o professor apresenta uma situação problema que faz parte, direta ou indiretamente, do tema que será discutido em sala de aula, de modo que as concepções ou ideias dos estudantes sejam exploradas pelo professor. É, assim, uma forma de o professor identificar os conhecimentos prévios dos mesmos em relação ao tema da aula. Nesse sentido, além de contribuir para o professor conhecer o que os alunos já sabem, a problematização inicial também pode ser uma forma de despertar sua curiosidade, ir mais além e obter novos conhecimentos, proporcionando um melhor entendimento de situações-problema [9, 10].

Tanto a LDB quanto os PCNs recomendam fortemente a inserção de FMC na educação básica, mas em uma revisão da literatura nota-se que em 15 anos muito poucos trabalhos adordaram a FMC, e nenhum deles tratou da relação entre FMC e arte

Este artigo apresenta uma proposta didática sobre uma possibilidade de aproximação entre a teoria da relatividade restrita (TRR) e o movimento cubista, cujo palco de surgimento comum foi a Europa do início do século XX. A ideia é estabelecer uma ponte entre cubismo e TRR a partir da nova noção de espaço-tempo da TRR e do espaço pictórico do cubismo. A nossa abordagem parte de uma perspectiva conceitual e histórica das concepções de espaço e tempo que surgiram com a revolução científica e cultural daquelas áreas. A proposta didática está baseada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (*Metodologia do Ensino de Ciências* (Cortez Editora, São Paulo, 1990) e, a partir dela, acreditamos que seja possível promover uma aproximação entre física e arte, contribuindo, assim, para um maior ganho intelectual e cultural dos estudantes.

Já o segundo momento consiste na organização do conhecimento. É uma etapa em que o professor sistematiza e discute o conteúdo que está relacionado à problematização inicial. O professor pode utilizar estratégias de ensino para abordar o conteúdo, tais como CTSA, história e filosofia da ciência, novas tecnologias de informação e comunicação e experimentação. No último momento, aplicação do conhecimento, o professor desenvolve atividades de forma que os alunos possam utilizar o conhecimento científico discutido durante a organização do conhecimento. Os alunos poderão retornar aos questionamentos iniciais no intuito de discutir-los com base no que foi abordado sobre o conteúdo em sala de aula. O professor também pode ir além das situações discutidas nas problematizações iniciais, explorando, assim, situações mais gerais [9, 10].

1º Encontro

Nesse primeiro encontro, o professor pode iniciar a aula com a apresentação de uma pintura clássica renascentista, uma pintura impressionista e uma do cubismo analítico. Nossas sugestões são Pietá (obra de Pietro Perugino, 1500), Tâmis abaixo de Westminster (obra de Claude Monet, 1871) e Ma Jolie (obra de Pablo Picasso, 1912) (Figs. 1, 2 e 3). Esse é o momento de sugerirmos alguns questionamentos, tanto para estimular as discussões quanto para o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos:

- 1) Fazendo uma análise de cada pin-

tura, quais são as diferenças entre elas?

2) É possível fazer uma relação entre física e arte? Em outras palavras, há algum ponto em comum entre tais pinturas e a física?

3) Essas pinturas nos possibilitam fazer uma discussão sobre tempo e espaço? Na opinião de vocês, como tempo e espaço estão sendo expressos nas obras?

4) Analisando as pinturas, é possível fazer uma análise geométrica? De que modo?

As respostas dos estudantes servirão como base para o professor planejar os conteúdos das próximas aulas. Como o contato com as pinturas pode ser algo novo, é importante que o professor valorize qualquer manifestação dos alunos de modo a direcionar as discussões sobre o tema, seja de forma oral ou escrita. O professor pode colocar em prática o seu papel de mediador, promovendo a discussão entre os alunos e “provocando” questionamentos sobre suas compreensões a respeito das pinturas. É importante o professor destacar a relevância da interdisciplinaridade, evidenciando as relações que podemos promover com os diversos campos do saber – no presente caso, entre física e arte.

Como sugestão de leitura para a próxima aula, indicamos o texto *Cenário Histórico do Movimento Impressionista* [11].

2º Encontro

Conhecendo as concepções dos alunos, o professor pode discutir por meio de uma abordagem histórica o impressionismo e suas características, relacionando-as com o que os alunos falaram na



Figura 2: Tamisa abaixo de Westminster – Claude Monet(1871).



Figura 1: Pietá – Pietro Perugino (1500).



Figura 3: Ma Jolie – Pablo Picasso (1912).

aula anterior e através da leitura do material sugerido. O professor poderá problematizar a partir de:

1) Quais as características perceptíveis que surgiram com o movimento impressionista?

Esse estudo sobre o impressionismo é importante para que os alunos entendam as mudanças que ocorreram no espaço pictórico quando da passagem da arte clássica para a arte moderna. A abordagem feita sobre a pintura clássica pode ocorrer no decorrer da discussão sobre o impressionismo, pois com esse estilo artístico já é possível mostrar que o espaço pictórico começou a ser questionado. A discussão sobre o impressionismo servirá como um material introdutório para que os estudantes compreendam as mudanças ocorridas no espaço pictórico com o surgimento do movimento cubista.

Nesse encontro, a organização do conhecimento poderá ser feita através da discussão de pinturas clássicas e impressionistas para destacar as diferenças entre elas, tais como a perspectiva nas imagens, os tons de cores utilizados e artistas que se destacaram no movimento impressionista. A discussão pode ser levada até o Pós-impressionismo, e sugerimos também a utilização de pinturas para ilustrar tal fase do movimento.

Como aplicação do conhecimento, o professor poderá formar grupos de até cinco pessoas, entregar duas pinturas para cada grupo – uma clássica e uma impressionista – e solicitar que cada grupo faça a sua análise e logo depois socialize com a

turma.

3º Encontro

Esse encontro é dedicado a uma discussão dos conceitos de tempo e espaço da física clássica. O professor pode problematizar o conteúdo utilizando uma tirinha da Turma da Mônica, na qual o Cascão está andando de skate e conversando com Cebolinha, de modo a conhecer ideias dos estudantes sobre referencial inercial. Essa discussão facilitará o entendimento dos conceitos de espaço e tempo na TRR. O professor pode fazer perguntas, como:

- 1) O que vocês entendem por referencial inercial?
- 2) Analisando a tirinha, em relação a que Cascão está em repouso?
- 3) E em relação a quem Cascão está em movimento?

O professor pode trabalhar com outras ilustrações que mostram a distinção de referenciais inerciais. Após essa discussão, para a organização do conhecimento, o professor pode passar a abordar os conceitos de espaço e tempo da mecânica clássica e fazer alguns questionamentos do tipo:

- 1) O que é o tempo para vocês?
- 2) Como podemos medir o tempo?
- 3) E na física, como podemos utilizar o conceito de tempo?
- 4) O que vocês entendem por evento?

A partir das respostas dos alunos, pode-se iniciar uma discussão mais específica sobre o tempo com base nos conhecimentos prévios apresentados. O professor deve também discutir o conceito de tempo na mecânica clássica. Após essa discussão o professor pode abordar a questão do espaço, levantando as seguintes questões:

- 1) O que vocês entendem por espaço?
- 2) E por sistemas de coordenadas espaciais, o que vocês entendem?

Esse é o momento em que o professor fará uma discussão sobre a concepção de espaço na mecânica clássica, abordando e mostrando aos alunos as transformações de Galileu, por exemplo, as quais serão explicadas mediante a abordagem sobre o espaço e o tempo. A definição de espaço de acordo com a mecânica é importante para que os alunos entendam a diferença que haverá no conceito de espaço na TRR.

É relevante, também, a abordagem ao sistema de coordenadas espaciais citando o espaço euclidiano.

Sugerimos para o próximo encontro: a utilização do vídeo *Entenda seu Mundo (volume 5) – Tempo* da Discovery Channel [12] e a leitura do texto *Uma Questão de Ponto de Vista* [13].

4º Encontro

Essa aula é voltada para uma abordagem histórica da teoria da relatividade restrita. O professor pode iniciar a aula problematizando sobre o artigo e o vídeo da aula anterior:

- 1) Quais as novidades apresentadas por Einstein em 1905 (Fig. 4)?
- 2) Qual foi o princípio relacionado à velocidade da luz que Einstein apresentou?

Na organização do conhecimento, o professor pode discutir os seguintes tópicos a partir de uma abordagem histórica e conceitual: contexto no qual a TRR surgiu; experimento de Michelson e Morley; princípios da relatividade restrita; significado da equação $E = mc^2$.

Sobre a questão da velocidade da luz, o professor pode explorar a animação [14] cuja página inicial é mostrada na Fig. 5. Para próxima aula, o professor pode solicitar aos alunos que assistam o vídeo sobre o tempo [15] mostrado em diferentes âmbitos.

5º Encontro

O encontro pode iniciar com a discussão do vídeo sugerido na aula anterior, o qual traz uma boa explicação sobre a noção de tempo na relatividade restrita e como Einstein passou a tratá-lo. O professor poderá fazer uma problematização sobre o tempo de forma bem conceitual, a partir de perguntas como:

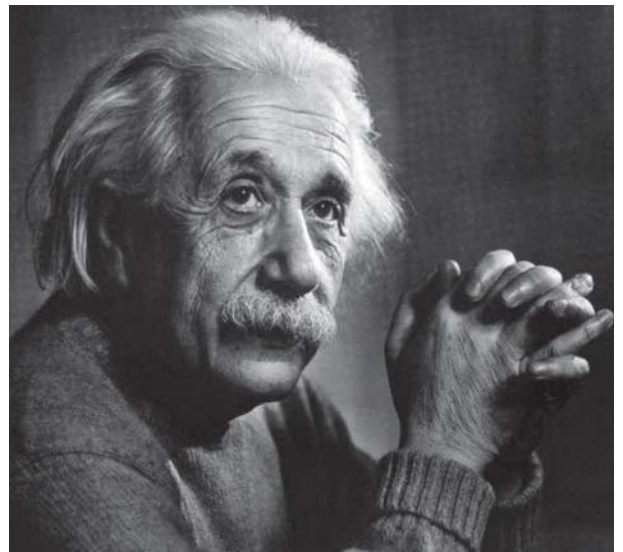


Figura 4: Albert Einstein (1879–1955).

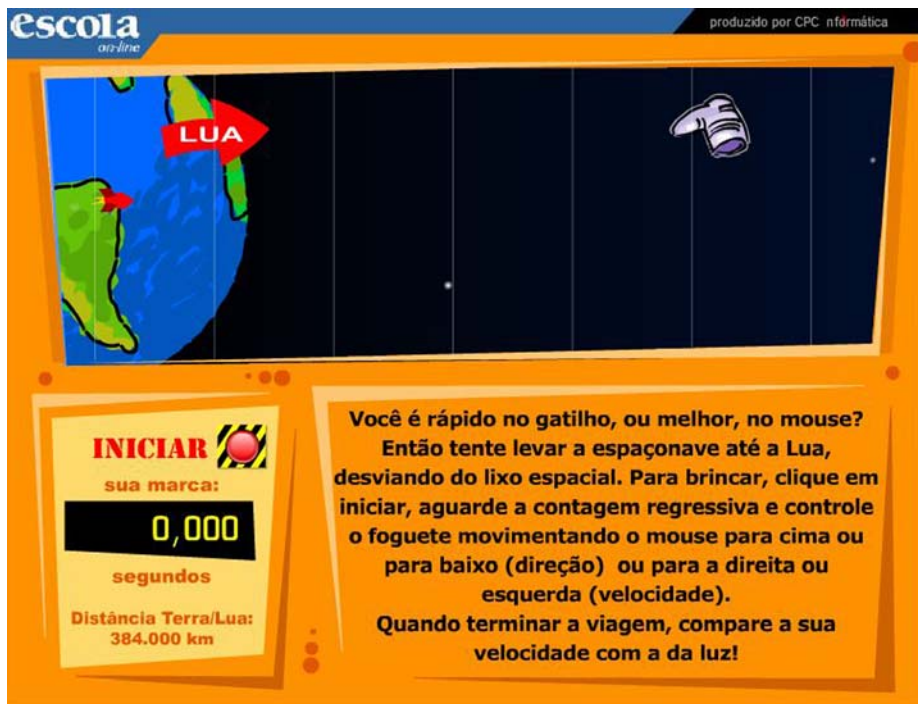


Figura 5: Animação – velocidade da luz.

1) Como podemos agora pensar no conceito de tempo a partir de diferentes âmbitos?

Como já foram propostos para as aulas anteriores o tema de sistemas de referência e o conceito de observador, agora o professor pode discutir a relatividade da simultaneidade, um conceito novo para os alunos. Pode ser utilizado, como uma forma de facilitar a visualização do fenômeno, o vídeo *Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade* [16]; em seguida, pode ser iniciada a discussão sobre dilatação do tempo.

Após o momento de organização do conhecimento, e caso ainda haja tempo, o professor pode discutir com os alunos a animação *O trem de Einstein* [17]. A página inicial dessa animação está representada na Fig. 6.

Da mesma forma que o tempo sofreu modificação, o espaço também foi alvo de grandes mudanças. Esse momento é dedicado a uma explicação sobre o que é a contração do espaço na relatividade restrita. O professor pode discutir o conteúdo com base no exemplo das régua de forma que os alunos compreendam que há uma diminuição do tamanho do objeto quando é submetido a uma velocidade próxima à da luz em relação a um observador. Após discutir sobre a contração espacial, o professor pode apresentar de forma introdutória as equações das transformações de Lorentz que mostrarão o que foi abordado: sistemas de referência, sistemas de coordenadas, a invariância da velocidade

da luz, a dilatação do tempo e a contração do comprimento. Será um momento de organizar o que foi estudado, até então, sobre a relatividade restrita. Como aplicação do conhecimento, pode ser solicitado ao aluno um texto sobre as diferenças entre a mecânica clássica e a TRR vistas até então.

Como sugestão de atividade para a próxima aula, o professor pode solicitar

aos alunos que façam interpretações e anotações sobre as pinturas disponíveis nas Figs. 7, 8 e 9, cuja intenção é que os alunos possam identificar as diferentes características que envolvem as três pinturas, como o espaço pictórico, os tons utilizados nas cores e a geometria. A outra atividade sugerida é que os alunos façam uma pesquisa sobre o movimento artístico do cubismo. Essa pesquisa pode ser interessante, pois espera-se que o aluno possa compartilhar com a turma e o professor o que mais chamou sua atenção acerca do cubismo e isso será explorado durante as discussões.

6º Encontro

Essa aula está relacionada à arte cubista, discutindo seu contexto histórico, seus criadores e suas características. Para a problematização inicial, serão expostas as pinturas das quais foram solicitadas as análises na aula anterior, para que possam ser levantadas discussões, sendo uma clássica, uma impressionista e uma cubista. O professor poderá fazer os seguintes questionamentos:

1) Com base nas três pinturas, quais diferenças foram relacionadas?

2) A palavra cubismo dá ideia de quê?

Esse será o momento de levantar as concepções dos alunos sobre a observação das pinturas, visto que, sobre pinturas clássicas e impressionistas, já houve discussões em aulas anteriores. A intenção é que os alunos comecem a perceber as modificações que surgiram com o cubis-

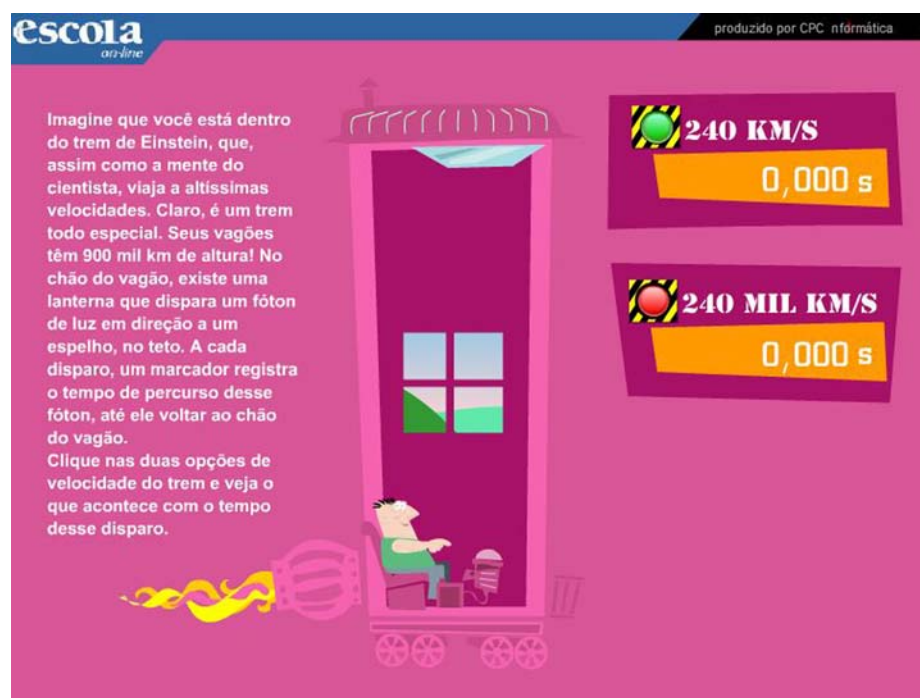


Figura 6: Animação – O trem de Einstein.



Figura 7: Escola de Atenas, obra de Rafael (1511).



Figura 8: Aula de Balé, obra de Edgar Degas (1873 - 1875).

mo. No momento de organização do conhecimento, pode ser discutido a influência de Cézanne para o surgimento do cubismo e a influência do mesmo sobre Pablo Picasso e Georges Braque. O professor também pode contextualizar a relevância de Picasso e Braque como fundadores do Cubismo, abordando seu surgimento, sua importância para a arte do século XX e suas fases, enfatizando o cubismo analítico e suas características revolucionárias. Para esse momento de organização, sugerimos que o professor faça uso de pinturas cubistas para mostrar as suas características.

Como sugestão de aplicação do conhecimento, o professor pode selecionar algumas pinturas provenientes de diferentes movimentos artísticos para que os alunos possam identificar aquelas pinturas que são cubistas. Após identificá-las, os alunos passariam, então, a descrever suas características.

Para a próxima aula, o professor pode sugerir que os alunos leiam uma entrevista feita pelo físico norte-americano Arthur Miller, professor de história e filosofia da ciência da University College London, na qual discute as semelhanças entre as obras de Einstein e Picasso [18].

Além disso, pode ser indicado o vídeo *O tempo como nova dimensão* [19], no qual são abordadas justamente as discussões dos encontros anteriores, trazendo também uma reflexão sobre o movimento cubista e a relatividade restrita.

7º Encontro

Essas duas aulas serão destinadas ao foco principal de nossa proposta didática sobre a teoria da relatividade e o cubismo. Primeiramente, o professor pode discutir as ideias dos alunos sobre o material indicado na aula anterior e problematizar fazendo perguntas do tipo:

- 1) É possível fazermos uma ponte entre TRR e o movimento cubista?
- 2) Se sim, a partir de quais aspectos?
- 3) De que maneira podemos fazer uma análise do espaço físico com o espaço pictórico?
- 4) Em relação ao conceito de tempo, como podemos promover uma ponte entre tais visões de mundo?

No momento de organização do conhecimento, o professor pode iniciar falando sobre o contexto histórico no qual surgiu tanto a TRR quanto o cubismo – uma época repleta de mudanças e transformações que impactaram diversas culturas como a física e a arte. O professor pode discutir sobre o novo espaço físico proposto pela TRR. Assim como na TRR, o cubismo passou por um processo simi-



Figura 9: Violino e Paleta – Georges Braque (1909).

lar de mudança, a modificação do espaço pictórico para expressar um novo movimento artístico. Outro aspecto que pode

ser discutido é a questão da simultaneidade do tempo na relatividade e nas pinturas do cubismo. A ideia é fazer uma ponte entre as duas culturas – TRR e cubismo. Para isso, o professor pode utilizar pinturas cubistas e destacar a questão do espaço-tempo, abordando o aspecto da geometria e técnicas do movimento, e contrapondo com as modificações ocorridas com o espaço-tempo dentro da TRR.

8º Encontro

Esse encontro é dedicado à aplicação do conhecimento da aula anterior, cujo intuito é que os estudantes sejam os pintores e artistas da vez. O professor pode solicitar que eles expressem as discussões realizadas em sala de aula na forma de uma pintura que contemple as duas culturas – TRR e cubismo. Caso o estudante não se sinta à vontade em usar tela e pincéis, o professor pode solicitar que a mesma atividade seja realizada por meio de uma outra forma de manifestação artística como, por exemplo, poemas.

Considerações Finais

Com este trabalho, acreditamos ter contribuído para o ensino de física através da construção de uma proposta didática sobre uma ponte entre TRR e cubismo para o uso do professor na educação básica. Como é sabido, uma das dificuldades em inserir temas de FMC no Ensino Médio é justamente a falta de material instrucional para o professor. No caso do ensino TRR na educação básica, conforme discutimos

na revisão de literatura, o tema aqui proposto é pouco explorado tanto na pesquisa em ensino de física quanto na elaboração de proposta didática. Por ser uma proposta interdisciplinar, sugerimos que, se possível, os professores de física trabalhem em colaboração com professores de arte e história, de modo que possam discutir acerca do contexto histórico, início do século XX, o qual foi palco de revoluções tanto na física quanto na arte. Também é importante ressaltar que, ao respeitar as idiossincrasias de cada sala de aula, o professor pode certamente realizar algumas modificações e/ou adaptações, de modo que a torne mais próxima do seu contexto escolar.

Com a aplicação da nossa proposta pelo professor do Ensino Médio, esperamos que os alunos se sintam motivados a discutir tais formas de cultura e, assim, possam ter um ganho intelectual e cultural a partir de uma ponte entre o espaço-tempo da TRR e o espaço pictórico do cubismo.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de apoio financeiro na forma de uma bolsa de mestrado.

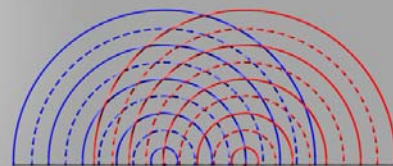
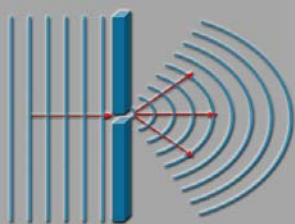
Nota

¹O professor interessado em aplicar nossa proposta didática pode utilizar como sugestão de material instrucional o trabalho de Reis [8], a partir do qual é abordada toda a discussão teórica que permeia os encontros.

Referências

- [1] Brasil, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996. Seção IV.
- [2] Brasil, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).
- [3] J. Köhlein, F. Klein e L.O.Q. Peduzzi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, 36 (2005).
- [4] R.A.S. Karam, S.M.S.C.S. Cruz e D. Coimbra, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 373 (2006).
- [5] R.A.S. Karam, S.M.S.C.S. Cruz e D. Coimbra, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 105 (2007).
- [6] C.M. Rodrigues, I.P.S. Sauerwein e R.A. Sauerwein, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **36**, 1401 (2014).
- [7] T.A. Ramos, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **13**, 9 (2013).
- [8] J.L. Reis, *Uma Proposta Didática para o Ensino de Relatividade Restrita através do Cubismo no Ensino Médio: Aproximando Duas Culturas* (Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana 2016), p. 109.
- [9] D. Delizoicov e J.A. Angotti, *Metodologia do Ensino de Ciências* (Cortez editora, São Paulo, 1990).
- [10] S.T. Gehlen, O.A. Maldaner e D. Delizoicov. *Ciência & Educaçã* **18**, 1 (2012).
- [11] E.I. Murguía, *Impulso* **24**, 25 (2014).
- [12] Discovery Channel, *Entenda o seu Mundo {Volume 5} – Tempo*, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=xcUOx2AGCO>, acesso em 10/9/2017.
- [13] Adilson Oliveira, *Ciência Hoje*, disponível em http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2772/n/uma_questao_de_ponto_de_vista, acesso em 12 de setembro de 2017.
- [14] *A Velocidade da Luz*, Revista Nova Escola, disponível em <https://novaescola.org.br/conteudo/4828/a-velocidade-da-luz>, acesso em 12/9/2017.
- [15] Alzir Fraga, *Teoria da Relatividade – O Tempo*, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=0M7z1t4kdPM>, acesso em 12/9/2017.
- [16] Demonstração da relatividade do conceito de simultaneidade. Física na Lixa, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Z1vSsvHFhv8>, acesso em 13/9/2017.
- [17] *O Trem de Einstein*, Revista Nova Escola, disponível em <https://novaescola.org.br/conteudo/4759/o-trem-de-einstein>, acesso em 13/9/2017.
- [18] A.I. Miller, *História, Ciências, Saúde – Manguinhos* **13**(supl), 223 (2006).
- [19] *O Tempo Como Nova Dimensão – Albert Einstein – Integra*, Globo Cidadania, disponível em <http://redeglobo.globo.com/globocidadania/videos/v/o-tempo-como-nova-dimensao-albert-einstein-integra/1763983/>, acesso em 14/9/2017.

Abordando os fenômenos de difração e interferência de ondas com o método da instrução pelos colegas (*Peer Instruction*)



.....
Wagner Tadeu Jardim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora, MG, Brasil
E-mail: wagner.jardim@ifsudestemg.edu.br

Mary Anne Marques da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, RJ, Brasil
E-mail: biomaryannemarques@gmail.com

Marina Valentin Barros

Colégio Santo Antônio, MG, Brasil
E-mail: marinote@gmail.com
.....

Introdução

De maneira geral, existe ampla discussão em âmbito nacional e internacional sobre a utilização de metodologias de ensino que possibilitem uma modificação na dinâmica de sala de aula. As metodologias ativas de aprendizagem utilizadas em classe têm na sua essência o deslocamento do papel do professor, que em vez de ser o protagonista na sala de aula passa a ser um mediador, permitindo assim uma participação ativa dos estudantes. No Brasil, muito esforço tem sido empregado nesse sentido e, nesse panorama, uma metodologia tem ganhado espaço nos últimos anos, a da *Peer Instruction* (Instrução pelos Colegas - IpC) [1,2,3]. A IpC foi desenvolvida em Harvard na década de 1990, tendo como seu idealizador o físico Erik Mazur. Essa metodologia prioriza a interação entre os estudantes em contrapartida ao formato tradicional de sala de aula, a partir da introdução de questões conceituais previamente escolhidas e elaboradas pelo professor. As questões guiam o desenvolvimento da aula a partir do direcionamento do professor. O principal objetivo da IpC é promover a compreensão de conceitos fundamentais de um tema por meio de uma dinâmica de interação entre os estudantes, alocando os alunos em um papel ativo na prática de ensino promovida em sala de aula [1,2].

metodologias ativas de aprendizagem utilizadas em classe têm na sua essência o deslocamento do papel do professor, que em vez de ser o protagonista na sala de aula passa a ser um mediador, permitindo assim uma participação ativa dos estudantes

No presente trabalho buscamos descrever os principais aspectos da metodologia IpC, exemplificados por uma sequência didática que foi construída por um professor de física que desconhecia a metodologia e a utilizou pela primeira vez em sala de aula. A proposta desenvolveu-se em quatro etapas principais: a primeira

contou com o estudo teórico das referências nacionais sobre a metodologia de ensino contida neste artigo e com discussões sistemáticas com outra professora, de biologia, também inexperiente em relação à metodologia IpC. O objetivo foi identificar as principais características da metodologia e propiciar maior clareza na construção da sequência didática e no processo de aplicação da mesma. A segunda etapa, de construção da sequência didática, foi orientada por uma professora pesquisadora que atua especificamente com o tema, sendo que a comunicação realizada via e-mail e videoconferência balizou as conexões entre os aspectos teóricos da IpC e o material trabalhado em sala de aula. A etapa seguinte consistiu na aplicação da sequência didática que visa discutir os conceitos de difração e interferência de ondas, em quatro turmas do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública federal, tendo cada turma um total de estudantes que variava entre 24 e 28. A aplicação preencheu o espaço de duas

aulas sequenciais de 50 minutos cada uma. A quarta e última etapa do trabalho voltou-se para a análise dos resultados obtidos durante a aula desenvolvida, passo essencial para uma avaliação da proposta.

Antes de discutirmos a experiência didática, apresentaremos aspectos da IpC que sumarizam o estudo teórico desenvolvido na primeira etapa da presente proposta e que foi a base para a prática desenvolvida.

O método de Instrução pelos Colegas (IpC) – *Peer Instruction*

Em uma aula dita tradicional, espera-se que o professor utilize o tempo disponível para transmitir detalhadamente informações específicas sobre o

Este artigo apresenta uma proposta de ensino dos conceitos de difração e interferência de ondas baseada na metodologia da Instrução pelos Colegas (IpC) (*Peer Instruction*). Essa metodologia pressupõe a alteração da dinâmica da sala de aula, priorizando a interação entre os estudantes e modificando o papel do professor. Após apresentarmos os principais aspectos da IpC, estes serão discutidos dentro do contexto de uma sequência didática desenvolvida e aplicada por um professor, até então, desconhecedor dessa metodologia. A aula teve como público-alvo quatro turmas do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública federal. A proposta mostrou-se satisfatória, pois além do aumento no índice de respostas corretas em questões sobre interferência e difração de ondas, houve boa receptividade dos estudantes em relação à nova dinâmica que tomou o espaço da sala de aula.

conteúdo ministrado, para que os estudantes, em momento posterior, estejam aptos a responder questões sobre o tema. A IpC reorienta essa estrutura criando um espaço onde o professor ministra apresentações orais menores (aproximadamente 15 minutos cada), que têm por foco os conceitos principais e são intercaladas com questões que serão respondidas, cada uma delas, em até duas etapas [1,2, 4].

Ao se apresentar uma questão aos estudantes, estes são convidados a refletir brevemente (cerca de 2 minutos), individualmente, sobre as opções de resposta, escolhendo a que consideram correta. É importante que nesse momento não ocorra nenhuma interação entre os estudantes. Após o tempo designado a essa primeira etapa, os alunos são convidados à votação, apresentando suas respostas individuais. Nesse momento, o professor deve avaliar (e registrar) as respostas para definir o passo seguinte [1,4].

Existem alguns recursos tecnológicos possíveis para a escolha das respostas por parte dos estudantes. Dentre esses, destacamos os *clickers*, que são dispositivos eletrônicos usados pelos estudantes para responder aos testes propostos nas aulas. Esses aparelhos (semelhantes a controles remotos) são fornecidos individualmente para os estudantes, permitindo a inserção de suas respostas para os testes conceituais. As respostas são enviadas para o computador do professor, que poderá visualizá-las prontamente. Há também aplicativos de *smartphones*¹ que funcionam de maneira semelhante aos *clickers* e cartões de resposta (chamados de *flash-cards*), em que estão desenhadas as opções de respostas com cores diferenciadas. É importante que a escolha das alternativas pelos estudantes seja feita por meio desses métodos (cartão de resposta, *clickers* ou aplicativos de *smarthphones*) e não oralmente ou por uma votação em que os alunos levantem as mãos, para que não ocorra interferência entre as respostas dos colegas. Em uma pesquisa [5] desenvolvida em uma escola pública canadense em que foram usados cartões de resposta e *clickers* para medir as respostas dos estudantes, identificou-se que não há diferença em termos de aprendizagem dos alunos quanto ao uso desses dois instrumentos, e sim diferenças para o professor, já que a tabulação das respostas é imediata no caso dos dispositivos eletrônicos.

É importante ressaltar que a avaliação das respostas se mostra essencial para analisar como o processo terá continuidade. Caso as respostas sejam muito homogêneas (mais de 70% dos estudantes com opções erradas ou corretas), a pró-

xima etapa que será descrita, de interação entre os estudantes, pode perder o sentido. Se as respostas individuais dos alunos apresentarem, em sua grande maioria, a opção correta, um debate não suscitará controvérsias, sendo uma explicação por parte do professor para toda a classe um melhor condutor para o tópico seguinte e o tempo que seria destinado para o processo de interação pode ser mais bem aproveitado em outros momentos da aula. Caso o panorama de respostas individuais aponte para um baixo percentual de respostas corretas (menor do que 30% de respostas corretas), isso pode ser resultado de uma questão mal formulada ou uma explicação prévia inadequada por parte do professor. Nesse caso, suscitar uma interação entre os estudantes pode acarretar maior confusão dos conceitos. Assim, o professor deve revisitar o conceito apresentado e repetir a etapa 1. O ideal para uma boa interação entre os estudantes e sucesso da metodologia é que o número de respostas corretas se situe entre 30% e 70%, como sintetizado na Fig. 1.

Após a votação 1, caso os critérios da porcentagem de respostas corretas direcionem para a discussão entre os colegas, o que constitui a segunda etapa, os estudantes devem formar pequenos grupos, de 2 a 5 alunos, nos quais cada um deve apresentar suas respostas com base em seus argumentos. O objetivo é que os estudantes possam reavaliar suas opções contrastando seus próprios argumentos aos de seus colegas. Dessa maneira, é impor-

tante que os grupos sejam formados de forma heterogênea, ou seja, que cada grupo comporte a maior variedade de opções de resposta possíveis resultantes da votação 1, no intuito de enriquecer o debate [1,4]. Caso todos os alunos no mesmo

grupo apresentem a mesma resposta, é importante que o professor os ensine a discutir todas as alternativas e a encontrar os motivos por que as julgaram erradas, enriquecendo assim a capacidade argumentativa dos alunos e

aprofundando a compreensão do conceito em discussão.

Outro aspecto essencial a se destacar é que para propiciar a interação entre os colegas, as questões devem ser formuladas previamente ou selecionadas dentre as presentes em livros-texto ou exames já existentes,² porém sempre levando em consideração alguns aspectos cruciais para os objetivos da IpC. As questões devem ser conceituais, não óbvias para os estudantes, claras e concisas, abordarem um conceito por vez (por questão) e motivarem discussões entre os alunos. Devem ser pensadas de maneira que contemplem a compreensão sobre os conceitos mais importantes apresentados oralmente pelo professor. Os testes devem conter perguntas que não podem ser resolvidas com base em uma equação matemática, pois o foco deve ser na aprendizagem conceitual, e não podem ser de fácil solução, o que implicaria um grande índice de acertos e suprimiria a etapa de interação entre os colegas. Além disso, os testes devem promover discussões entre os estudantes,

Clickers, dispositivos eletrônicos semelhantes a controles remotos, podem ser usados pelos estudantes para responder a testes propostos nas aulas. Esses aparelhos são fornecidos individualmente para os estudantes, permitindo a inserção de suas respostas

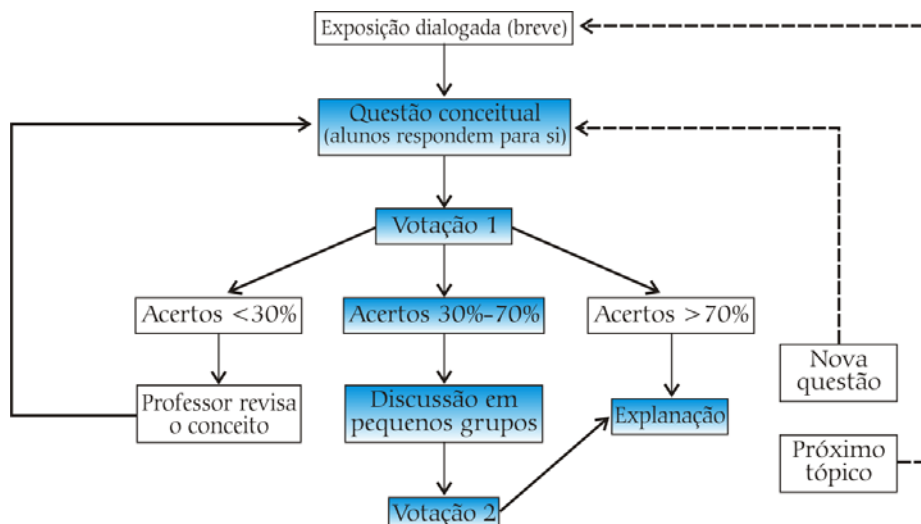


Figura 1: Diagrama do processo de implementação do método IpC [1, p. 370].

visando um melhor entendimento sobre os conteúdos. O professor precisa ser bem criterioso ao preparar sua aula, em que utilizará o IpC, decidindo previamente quais serão os conceitos discutidos naquela aula e quais habilidades ele pretende desenvolver. A ordem em que ele apresentará os testes deve ser decidida em momento anterior à aula e outro cuidado a ser tomado é o de selecionar mais de um teste por tópico do conteúdo ou habilidade que se pretende trabalhar. Dessa maneira, as questões apresentadas no presente trabalho seguem essas recomendações e são de formulação própria ou adaptações de testes encontrados na internet ou em livros didáticos.

Difração e interferência de ondas, uma interação entre ondas e entre colegas: construção e aplicação da metodologia IpC

O professor responsável por construir a aula, como indicado na introdução, nunca havia pesquisado sobre ou trabalhado com a metodologia IpC em momentos anteriores. A partir da construção da proposta, o professor responsável por reger a aula e outra professora que também não possuía experiência prévia com a IpC acessaram e discutiram conteúdos acadêmicos, disponíveis em periódicos e anais de congresso, ambos nacionais e de livre acesso, que discutem a metodologia IpC e/ou apresentam exemplos de sua aplicação [1,2,4,6,7]. Materiais como os mencionados, além de contato via email e videoconferência com a professora-pesquisadora durante o processo de construção e aplicação que será descrito, constituíram a estrutura para que a dinâmica da sequência didática e os objetivos da metodologia não fossem distorcidos no trabalho prático.

Em uma aula anterior ao desenvolvimento da sequência didática, o professor propôs uma atividade prévia (AP),³ na qual os alunos utilizaram uma simulação (Fig. 2) para observar fenômenos ondulatórios em diversas situações. Essas

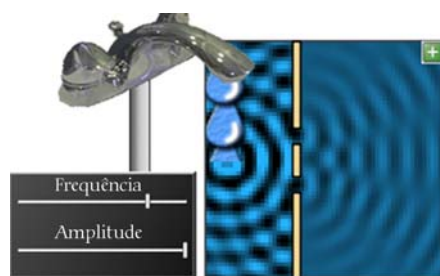


Figura 2: Simulação de ondas na água para observação de difração e interferência (<http://phet.colorado.edu/pt>).

observações deveriam ser realizadas na escola ou em casa, fora do espaço da sala de aula e entregues ao professor (via-email ou arquivo físico). Para garantir que todos os estudantes (ou pelo menos a maioria deles) realizassem as observações, foi atribuída uma pequena pontuação dentro das avaliações bimestrais correntes. No caso da turma que terá seus resultados descritos ao longo do texto, 24 dos 25 estudantes entregaram a AP.

A simulação utilizada consiste em uma torneira que libera gotas de água periodicamente em um tanque com água. O estudante tem a liberdade de aumentar ou diminuir a frequência e amplitude das ondas, bem como afastar ou aproximar da fonte geradora de ondas, uma barreira que pode conter um ou dois orifícios. Nesse momento do ano letivo, os estudantes já tinham discutido em sala as características básicas de uma onda, tais como amplitude, frequência, comprimento de onda e velocidade, além de já conhecerem fenômenos básicos como refração e reflexão.

Na AP, foi requisitado aos alunos que respondessem as seguintes questões: 1 “Ajuste a largura da fenda para um tamanho bem pequeno, aumente a frequência para valores grandes e aproxime a fenda da fonte geradora de ondas. Nessas condições, o que você observa quando a onda atravessa a fenda? Descreva.”. 2 “Se aumentarmos a largura da fenda, algo se modifica? Descreva.”. 3 “Existe algum limite de tamanho para o qual, se aumentarmos a largura da fenda, o fenômeno é interrompido? Descubra e descreva as observações.”. 4 “Quando o fenômeno é interrompido, o que acontece com a onda que passa pela fenda? Descreva.”. 5 “Estruture novamente a situação descrita no item (1), acrescente uma segunda fenda. O que você observa? Descreva.”. 6 “Na situação do item 5, se variarmos a largura das fendas, algo se modifica? Descreva.”

Foi orientado aos alunos que todos os casos deveriam ser observados e suas análises anotadas, tais como a observação de algum efeito que surgisse ou cessasse em determinadas condições que deveriam ser explicitadas de maneira qualitativa. O professor enfatizou, ainda, que seria atribuída pontuação às respostas, todavia a correção da atividade não seria voltada para uma análise de “certos” ou “errados”, mas sim levaria em consideração o esforço empregado na descrição das análises rea-

lizadas, como indicado pelo referencial teórico [1].

O objetivo dessa atividade foi familiarizar os estudantes com os fenômenos e imagens que seriam discutidos na aula presencial, o que foi percebido, por exemplo, devido aos vários relatos de “espalhamento” (algo semelhante ao que seria o fenômeno de difração) encontrado nas descrições dos estudantes, em determinadas alterações de parâmetros, como na questão 1 da AP. Dessa maneira, buscamo estimular a elaboração de argumentação sobre o tema, por parte dos alunos.

Para início da aula presencial, foram distribuídos, para cada estudante, os *flashcards* (cartões) com as letras A, B, C e D, sendo que cada *flashcard*, além de possuir uma letra diferente, também foi confeccionado com uma cor diferente, amarela, azul, rosa e verde, respectivamente. Cada letra foi impressa em papel de sua respectiva cor e, na parte de trás de todos eles, foi colado

A Atividade Prévia cumpre um papel de “exercício de aquecimento”, ou seja, de familiarizar os estudantes com os temas que serão trabalhados posteriormente e auxiliar no processo de construção da aula

um papel cartão no intuito de que os alunos das linhas de trás não conseguissem identificar as respostas dos colegas da frente, minimizando possíveis “colas” de respostas. Cada etapa de votação foi registrada por meio de fotografias, o que justifica a escolha de diferentes cores para cada letra dos *flashcards*, para facilitar a identificação das respostas que serão apresentadas ao final da presente seção.

Optamos pelo uso dos *flashcards* (Fig. 3) em vez dos *clickers* ou aplicativos de *smartphones* pelo fato de não possuímos disponíveis os *clickers* e nem todos os estudantes possuem *smartphones* que pudessem baixar os aplicativos necessários para a dinâmica dos *clickers*. Além disso, uma vez confeccionados os *flashcards*, os mesmos podem ser utilizados em qualquer contexto. No entanto, vale ressaltar que uma alternativa interessante aos *flashcards* é a utilização do *Plickers*, por meio dos quais somente o professor necessita possuir o aplicativo (*plickers*, disponível gratuitamente na internet) em seu *smartphone* e as cartelas impressas, utilizadas pelos estudantes, contêm códigos que são identificados pela câmera do aparelho. Dessa maneira, o *Plickers* alia a vantagem dos *flashcards*, que é o baixo custo, e a vantagem da identificação e apresentação das respostas dos *clickers* [7].⁴

Antes de iniciar a discussão específica sobre os conteúdos de ondulatória, fez-se importante explicitar claramente para os



Figura 3: Estudantes utilizando os *flashcards* para responder a uma das questões sobre difração e interferência.

alunos como se daria o processo de votação. É indispensável que todos os estudantes compreendam as etapas de votação para que os objetivos da sequência didática não sejam comprometidos. Assim, iniciamos a aula com uma pergunta teste (pergunta 0) sobre qual seria o time de futebol de cada aluno, com o objetivo de verificar a dinâmica das votações. Foram apresentadas quatro opções: Cruzeiro (A), Atlético (B), Flamengo (C) e Outros (D). Após a primeira votação, os estudantes tiveram dois minutos para discutir suas respostas em pequenos grupos (de 3 e 4 alunos) e, em seguida, foi realizada uma nova votação em que as respostas permaneceram as mesmas. Apesar da não alteração nas respostas (como já era esperado para esse caso), a pergunta teste serviu bem ao propósito de ser um momento de descontração em que os alunos pudessem interagir entre si, apresentar argumentos em favor de suas respostas e compreender a dinâmica que guiará a aula.

Depois de compreendida a dinâmica de votação das duas etapas destacadas na seção anterior, que constituem a instrução pelos colegas, a votação individual inicial

e a votação individual posterior à discussão em pequenos grupos, o professor iniciou a discussão sobre os conteúdos específicos da sequência. A primeira das pequenas apresentações por parte do professor versou sobre a frente de onda e o princípio de Huygens para a propagação de uma onda. Além disso, foram apresentadas imagens que representavam o princípio de Huygens em uma onda circular bidimensional ao passar por um obstáculo (Fig. 4).

Apesar de o exemplo tratar de uma onda circular, não foram discutidos, nesse momento, variações no tipo de onda ou obstáculo, apenas o princípio de Huygens e que o fenômeno de uma onda contornar um obstáculo era chamado de difração. Relembrando, as apresentações ministradas pelo professor devem conter informações que permitam a formulação de ideias pelos estudantes sobre as questões subsequentes, porém sem detalhar o fenômeno de maneira a antecipar por completo as respostas.

Em seguida, apresentamos as questões 1 e 2:

Questão 1: A difração ocorre quando a luz passa por:

Ao se trabalhar com a IpC pela primeira vez, é importante discutir detalhadamente, com os estudantes, como se dão as etapas de votação para que a dinâmica da aula não seja prejudicada

- A) buraco pequeno.
- B) fenda estreita.
- C) fenda larga.
- D) Em todos os casos.

Nesse momento, como houve um grande número de respostas corretas (88% de acerto),⁵ não se fez necessária a segunda etapa (de interação entre os estudantes). O professor indicou a resposta correta (letra D), apresentou a questão número 2 e deixou para discutir ambas (questões 1 e 2) em conjunto.

Questão 2: No fenômeno da difração existe alteração:

- A) no comprimento de onda
- B) na frequência
- C) na forma
- D) na velocidade de propagação

A questão 2 apresentou, após a primeira votação, 32% de respostas corretas (letra C), o que foi modificado para 68% após a interação entre os estudantes. Após esse momento seguimos para uma discussão sobre a difração relacionada às questões que acabaram de ser discutidas. Então apresentamos imagens que representam ondas contornando diferentes obstáculos, como o da Fig. 5, em que uma onda atravessa um orifício circular. Para essa explicação, retomamos ainda a Fig. 4 e o princípio de Huygens, mas não discutimos a aparição do padrão de interferência.

Em seguida, no intuito de aprofundar a discussão sobre os efeitos de difração, passamos para as questões 3 e 4.

Questão 3: Sobre a figura a seguir (Fig. 6), podemos perceber que no primeiro caso, à esquerda, existe o efeito de difração; no segundo caso, apesar de termos ondas que passam por uma fenda, o efeito não é tão perceptível. O que melhor explicaria, diretamente, essas observações?

- A) A distância da fonte até a fenda.
- B) A largura da fenda.
- C) A frequência da onda.
- D) A velocidade da onda.

Questão 4: (UFRGS 2005 - Adaptada)

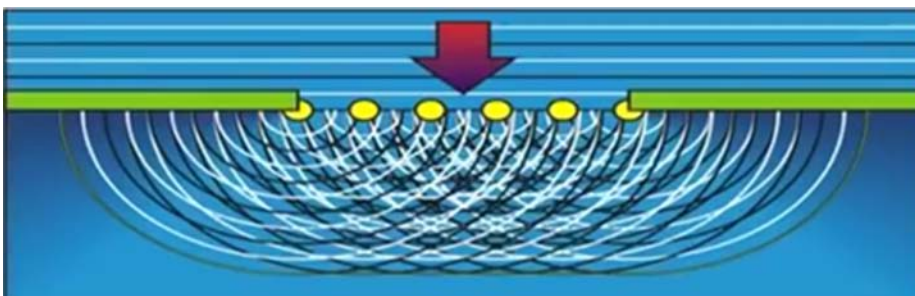


Figura 4: princípio de Huygens, disponível em www.wikimedia.org.

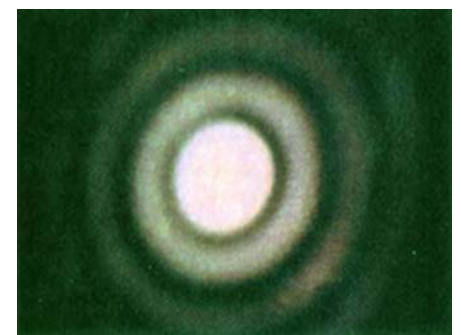


Figura 5: Onda (luminosa) contornando um orifício circular.

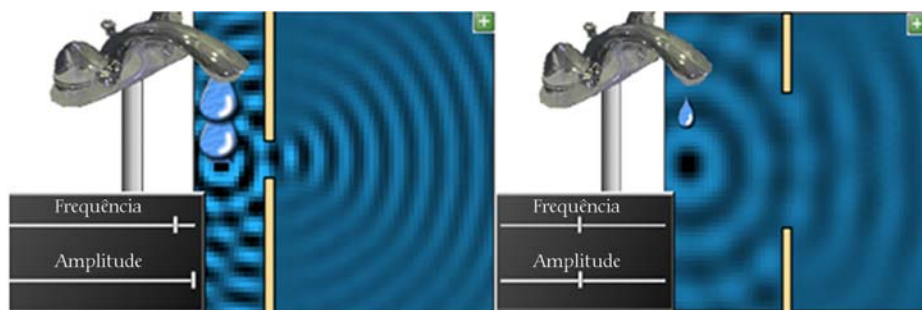


Figura 6: Imagem que compõe a questão 3, produzida utilizando o simulador do Phet.

Um trem de ondas planas de comprimento de onda λ , que se propaga para a direita em uma cuba com água, incide em um obstáculo que apresenta uma fenda de largura F . Ao passar pela fenda, o trem de ondas muda sua forma, como se vê na fotografia a seguir (Fig. 7). O fenômeno físico mostrado na figura é conhecido como difração. Para que esse fenômeno seja intensificado, poderíamos:

A) diminuir um pouco o tamanho do orifício.

B) diminuir a profundidade do recipiente.

C) aumentar a frequência da onda.

D) aumentar a velocidade da onda

A questão 3 apresentou na primeira votação 46% de respostas corretas (letra B), o que aumentou para 76% após a discussão pelos colegas. Na questão 4, o percentual de respostas corretas (letra A) aumentou de 62% para 92%. Após as votações para as questões 3 e 4, o professor discutiu com os estudantes que a ocorrência mais explícita do fenômeno de difração recai sobre a dependência do comprimento de onda em relação às dimensões do obstáculo a ser contornado. Nessa discussão foram apresentadas algumas imagens de difração de ondas na água extraídas do programa *Google Earth* [8]. Dessa maneira, iniciamos a discussão conceitual que lança as bases para se res-

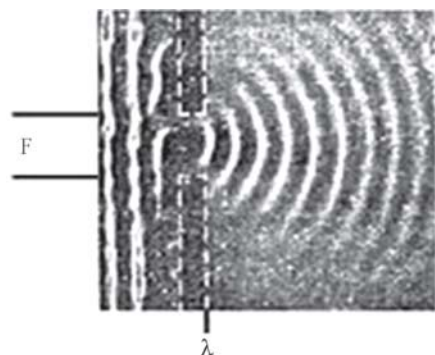


Figura 7: Imagem retirada do exame vestibular da UFRS 2005 e que compõe a questão 4 do presente trabalho.

ponder à questão 5 que viria a seguir. Ressaltamos que os estudantes tinham conhecimento, advindo de aulas anteriores, das diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas; no caso específico da questão seguinte, ondas sonoras e ondas luminosas.

Questão 5: (UFMG) O muro de uma casa separa Laila de sua gatinha. Laila ouve o miado da gata, embora não consiga enxergá-la. Nessa situação, Laila pode ouvir, mas não pode ver sua gata, porque

A) a onda sonora é uma onda longitudinal e a luz é uma onda transversal.

B) a velocidade da onda sonora é menor que a velocidade da luz.

C) a frequência da onda sonora é maior que a frequência da luz visível.

D) o comprimento de onda do som é maior que o comprimento de onda da luz visível.

Após as etapas de votação na questão 5, apesar de observarmos um aumento no índice de respostas corretas (letra D) de 32% para 52%, o resultado final não foi satisfatório (sendo menor que 70%). Então, destinamos maior tempo para retomar as diferenças entre ondas longitudinais e transversais, opção que recebeu grande número de votos, e reforçar as diferenças de frequência entre ondas sono-

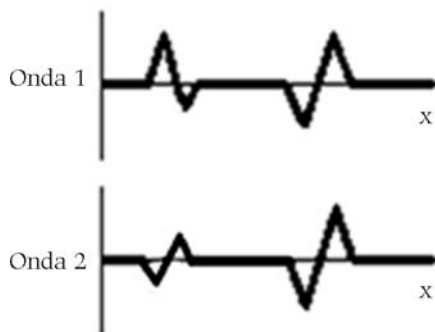


Figura 8: Representação gráfica de ondas se deslocando na água e suas superposições.

ras e luminosas.

Como ponto de partida para se discutir mais especificamente o fenômeno de interferência, optamos por uma questão que dispusesse de um conteúdo visual simples que representasse graficamente o efeito e permitisse introduzir o fenômeno. Seguimos então para a questão 6, que trabalharia com a grandeza “amplitude”, já conhecida pelos estudantes, agora no contexto da interferência de ondas.

Questão 6: Considere as ondas 1 e 2 se deslocando através da água ao mesmo tempo (Fig. 8). Qual das opções melhor representa a onda visualizada na água?

A questão 6, após a segunda etapa de votação, não necessitou um aprofundamento por parte do professor (já que o índice de acerto foi de 100%, letra C) pois, segundo os estudantes, o conceito de interferência a partir da análise gráfica disposta na própria questão permitiu um entendimento bem direto do processo de “soma de amplitudes”. Dessa maneira, foi possível seguir para a discussão presente na questão 7, ainda sobre interferência de ondas e “somadas de amplitudes”.

Questão 7: Dois pulsos idênticos de amplitude oposta viajam ao longo de uma corda esticada e interferem destrutivamente. Qual(is) das seguintes opções é/são verdadeira(s)?

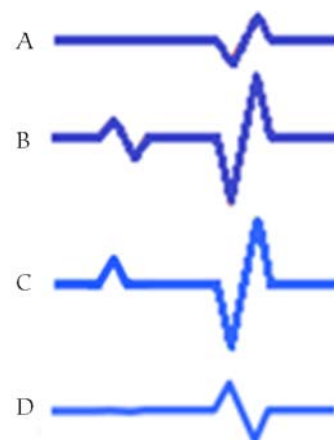
A. Há um instante em que a corda está completamente em linha reta.

B. Quando os dois impulsos interferem, a energia dos pulsos é momentaneamente zero.

C. Há um ponto na corda que não se move para cima ou para baixo.

D. Existem vários pontos da corda que não se movem para cima ou para baixo.

Após as rodadas de votação da questão 7, observamos uma mudança no índice de acerto (letras A e C)⁶ de 40% para



84%. Definimos de maneira mais rigorosa o fenômeno de interferência, retomando a oscilação de cada ponto material em uma onda mecânica e o conceito de transporte de energia e o não transporte de matéria presentes nas ondas. Nesse momento da aula, já haviam sido apresentados os conceitos de interferência e difração. Para um maior aprofundamento, apresentamos a questão 8, para discutir brevemente a propagação de luz em um laser, e a questão 9, que nos permitiu apresentar o experimento de Young e, em seguida, demonstrar as diferenças entre o experimento original e o que seria reproduzido em sala em uma perspectiva moderna [8].

Questão 8: Se o princípio Huygens-Fresnel se aplica a qualquer momento e em qualquer lugar no caminho de um feixe, por que um feixe de laser, sem qualquer fenda (Fig. 9), não se espalha em todas as direções?

A) Porque todas as ondas que se espalham interferem destrutivamente.

B) Ele se espalha, mas a propagação é tão pequena que se torna imperceptível.

C) Não se pode aplicar o princípio Huygens-Fresnel em qualquer situação, apenas em fendas e aberturas.

Questão 9: Com base nos efeitos estudados, os efeitos ondulatórios para a luz observados nas figuras a e b (Fig. 10), foram:

A) Na Fig. 10a não ocorreu difração nem interferência enquanto na Fig. 10b ocorreram ambos.

B) Na Fig. 10b ocorreu apenas a difração enquanto na Fig. 10a ocorreu a difração e a interferência.

C) Na Fig. 10, tanto na situação “a” quanto na “b” ocorreram difração e interferência.

Como podemos perceber, os fenômenos de difração e interferência foram sendo apresentados e aprofundados ao longo de cada teste trabalhado na aula, o que nos permitiu, após as rodadas de votação das questões 8 com índices de acerto (letra B) de 33% e 72% e 9 com índices de acerto

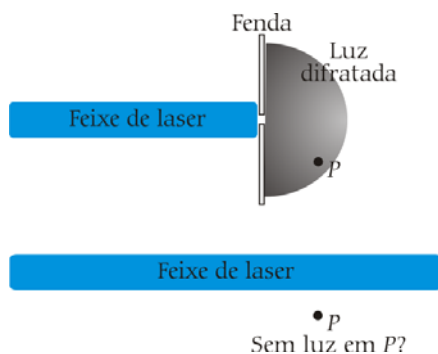


Figura 9: Propagação da luz de um laser.

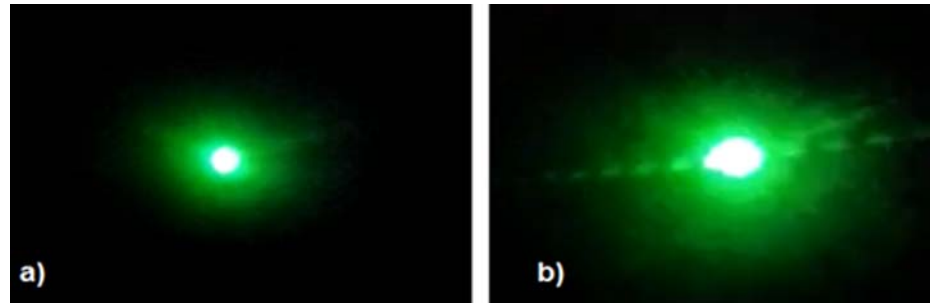


Figura 10: Figura que compõe a questão 9, projeção de um laser em um anteparo (a) e projeção de um laser após contornar um fio de cabelo.

(letra C) de 64% e 92%, contextualizamos e reproduzimos o experimento de Young em uma perspectiva moderna [8], no intuito de rediscutir e reforçar os conceitos trabalhados na sequência didática.

A seguir, apresentamos um gráfico (Fig. 11) que relaciona as duas etapas de votação de cada questão para a turma de 25 alunos cujos resultados foram apontados ao longo do texto. As colunas em vermelho representam o percentual de respostas corretas na primeira votação, que corresponde ao momento de reflexão individual, e as colunas em verde representam o percentual de respostas individuais após o processo de interação com colegas. Já na Fig. 12, o gráfico apresenta os resultados obtidos na turma 2, com 28 alunos. A questão 1 da primeira turma e as questões 1 e 4 da segunda turma não constam nos gráficos (Figs. 11 e 12) por apresentarem um percentual muito elevado de respostas corretas na primeira etapa de votação, dispensando a etapa de interação entre os colegas.

De maneira geral, como pode ser analisado nas Figs. 11 e 12, a proposta indicou resultados positivos, apresentando um aumento percentual médio de respostas corretas, entre a etapa inicial de votação e a etapa pós interação entre os estudantes, de 31% para a primeira turma e de aproximadamente 25% para a segunda turma. Outro resultado satisfatório mostrou-se de forma qualitativa, manifestado na boa recepção da metodologia IpC por parte dos estudantes, processo que os colocou em uma posição mais ativa durante a aula e foi bastante elogiado por parte dos alunos em relação à dinâmica desenvolvida no processo.

Comentários finais

Neste trabalho, buscamos apresentar a metodologia da Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) dentro do contexto de uma aplicação real, de maneira que seus aspectos principais fossem colocados de maneira simples, todavia sem comprometer um entendimento adequado do pro-

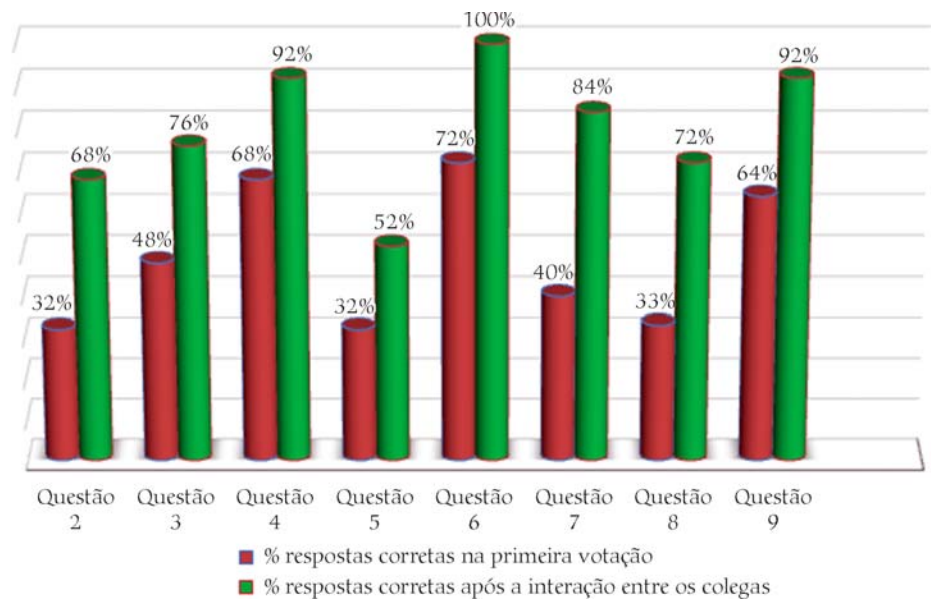


Figura 11: Gráfico com o percentual de respostas corretas em cada votação para a primeira turma, de 25 alunos.

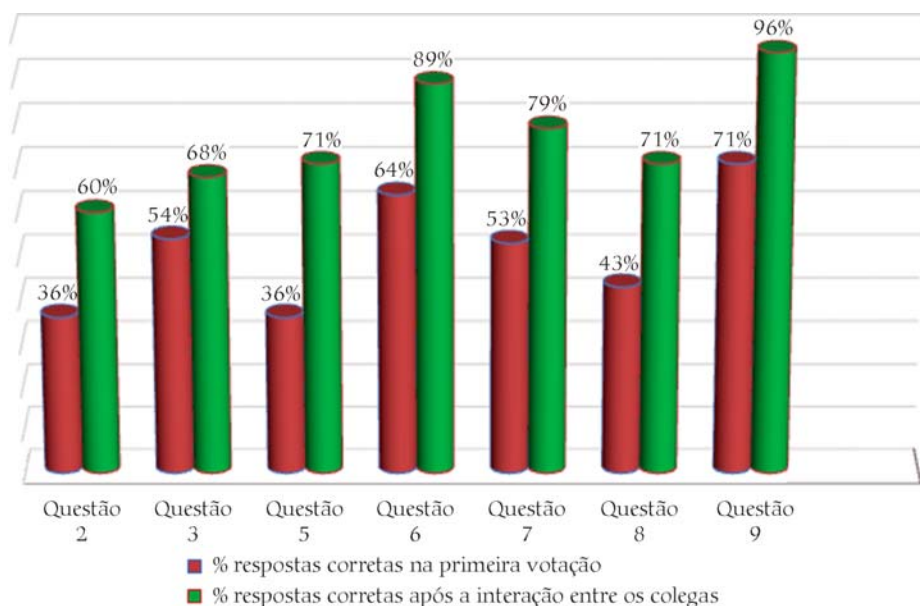


Figura 12: Gráfico com o percentual de respostas corretas em cada votação para a segunda turma, de 28 alunos.

cesso. A sequência didática de difração e interferência de ondas foi construída por um professor que teve seu primeiro contato com a metodologia nesse contexto, guiado por referências nacionais, de livre acesso, além de contar com discussões com outra professora, iniciante na metodologia IpC, e com a orientação de uma professora pesquisadora com experiência no tema. Ao longo do texto, apresentamos os dados de uma das quatro turmas, de 25 alunos, sumarizados no gráfico da Fig. 11, turma escolhida pelo fato de apenas uma das 9 questões ter sido dispensada do processo de interação entre os estudantes (Questão 1). O gráfico da Fig. 12 apresenta os dados da turma 2, composta de 28 alunos. Os resultados das turmas 3 e 4 não são apresentados devido a um problema da câmera do *smartphone* empregado na captura das imagens e que, em alguns casos, não permitiu uma identificação razoável das respostas a fim de serem aqui apresentadas de maneira precisa. Apesar de o método IpC considerar a análise de dados fundamental para uma compreensão do processo, nosso objetivo principal foi o de apresentar a viabilidade da metodologia a partir do contexto de uma aplicação real. Por outro lado, negligenciar uma apresentação desses dados, mesmo que de forma sucinta, implicaria negativamente no entendimento e na avaliação da proposta.

Como ressaltado por Araujo e Mazur [1], o aumento na interação dos estudantes com a aula e entre eles mesmos foi um aspecto bastante positivo. O professor não atuou apenas como um fornecedor de conhecimento, mas como um

facilitador do processo. Os *flashcards* mostraram-se eficientes para os objetivos iniciais, indicando que a impossibilidade de se adquirirem os *clickers* pôde ser contornada com a confecção de cartões de cartolina (*flashcards*). Vale ressaltar que ao utilizar os *flashcards* se deve estar atento em minimizar o efeito da “cola”, em que o aluno, ao perceber a resposta do colega, deixa de refletir sobre a questão proposta, copiando a resposta de outrem. Para isso, é necessário confeccionar cartões que não possam ser identificados pela parte de trás, como descritos no texto, além de buscar uma sincronia dos alunos no apresentar das respostas. Outra opção aos *clickers*, destacada no texto, é a do *Plickers*, que pode ser explorada pelo professor devido às diversas vantagens apresentadas [7].

Ainda como discutido por Araujo e Mazur [1], vale ressaltar que o simples fato de acrescentar um sistema de votação não implica na aplicação da metodologia da IpC. O planejamento prévio das aulas, considerando-se os aspectos apresentados acerca da metodologia IpC, são essenciais. As questões devem ser selecionadas e/ou elaboradas no intuito de suscitar discussões conceituais e sua ordem na sequência didática deve ser pensada. É importante que haja mais de uma questão com foco em cada conceito, uma vez que resultados insatisfatórios no momento da votação indicam a necessidade de se rediscutir e voltar mais atenção àquele conteúdo. Outro fator é que atribuir notas para respostas corretas, nas questões apresentadas em sala de aula, pode exercer impacto negativo, uma vez que os estudantes podem buscar caminhos alternativos para

alcançar os acertos, tais como tentativas de “cola” na primeira etapa de votação, ou apenas uma posição passiva de aceitar a resposta de um colega que, de maneira geral, apresente melhor desempenho na disciplina, após a discussão em grupo. É importante que o professor valorize mais o processo de interação entre os colegas, como está sendo executado, e a dedicação de cada aluno do que apenas o resultado final.

Outro aspecto ao qual devemos estar atentos é que as Atividades Prévias (AP) não devem ser tarefas que possam ser respondidas com uma simples busca na internet ou a memorização de algo. Nesse momento, por exemplo, disponibilizamos uma simulação e perguntas cujas respostas deveriam ser extraídas exclusivamente da interação direta com o *software*.

O presente trabalho constituiu uma proposta que pode ser reproduzida em outros contextos de sala de aula, mas, mais do que isso, teve o objetivo de mostrar os principais aspectos da metodologia IpC no intuito de instigar a criação de novos trabalhos, que podem ser adaptados e implementados sobre diferentes conteúdos e em distintas realidades.

Notas

¹Um exemplo de aplicativo que permite um sistema de votação compatível com o método da IpC e que pode ser baixado gratuitamente é o “Socrative”. Existem também os *Plickers*, que é um aplicativo que não demanda conexão wi-fi e identifica a porcentagem de respostas por meio do uso de cartões com símbolos. Esses, como outros recursos que estão sendo desenvolvidos e implementados, apresentam-se como facilitadores para a coleta e análise de dados, como no caso do *PInApp* [4].

²Existem bases de questões (em inglês), construídas pelo criador da IpC, Eric Mazur, e seus colaboradores especificamente para essa metodologia, disponíveis gratuitamente em <http://www.learningcatalytics.com>, www.deas.harvard.edu/galileo e www.flguide.org/tools/tools_technique.php.

³O que denominamos Atividade Prévia (AP) neste trabalho cumpriu o papel do que originalmente é referido por Erik Mazur e outros pesquisadores como Tarefa de Leitura (TL). Apesar de ambas cumprirem um papel de “exercício de aquecimento”, ou seja, de familiarizar os estudantes com os temas que serão trabalhados e auxiliar no processo de construção da aula, optamos por chamar de AP, uma vez que a atividade se baseou

na manipulação de uma simulação computacional em contrapartida aos materiais de leitura usualmente empregados.

⁴Os códigos correspondentes às letras A,B,C e D que devem estar presentes nas cartelas dos estudantes e que podem ser lidos pelo *smartphone* podem ser obtidos em https://plickers.com/PlickersCards_2up.pdf. Mais informações sobre sua utilização podem ser obtidas na referência [7].

⁵O número de respostas corretas apresentadas pelos estudantes, por questão e por opção, é apresentado no final desta seção.

⁶Foi explicitado que a resposta da questão 7 poderia conter mais de uma opção

correta. Logo, a resposta dada por um estudante que marcou somente a letra A

ou somente a letra C não foi considerada correta.

Referências

- [1] I. S. Araújo e E. Mazur, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 362 (2013).
- [2] M. Valentim, L. Zago, Y.P. Mascarenhas e M.A. Barros. in: *XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Uberlândia, p. 1 (2015).
- [3] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araújo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 180 (2015).
- [4] M.G. Müller, I.S. Araújo, E.A. Veit e J. Schell, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e3403 (2017).
- [5] N. Lasry, E. Mazur e J. Watkins, *American Journal of Physics* **76**, 1 (2008).
- [6] E.D. Kiehl, S.C.R Silva e A.F. Miquelin, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e4405 (2017).
- [7] T.E. Oliveira, I. S. Araújo, E. A. Veit. *A Física na Escola* **14**(2), 22 (2016).
- [8] W.T. Jardim, *A Física na Escola* **14**(1), 22 (2016).



XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física XXIII SNEF

27 de Janeiro a 01 de Fevereiro de 2019
Salvador, Bahia

Ensino de Física no século XXI:
caminhos para uma Educação
Inclusiva

Informações na aba de Eventos do portal da SBF





Explicando a Astrogeologia

.....
Bruno L. do Nascimento-Dias

Departamento de Física, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil

E-mail: bruno.astrobio@gmail.com
.....

Introdução

Embora a geologia seja a área que procura entender a composição e a estrutura evolutiva da Terra, através das rochas, dos minerais e do vulcanismo, ela não está restrita a estudar apenas materiais de nosso planeta. Atualmente, existe a possibilidade de se estudar amostras bastante similares aos minerais que encontramos na Terra. Esses materiais são encontrados em outros corpos do nosso Sistema Solar, tais como em meteoritos, asteroides e cometas. Além disso, com o avanço e desenvolvimento tecnológico também é possível analisar processos evolutivos geológicos de outros planetas, como Marte, ou até mesmo de outras luas de nosso sistema planetário, como Europa, Titã, Io e Encélado. Esse campo de junção da geologia com a astronomia forma o que podemos chamar de astrogeologia.

Por volta de 1912, o geólogo australiano Sir. Douglas Mawson liderou uma expedição à Antártica com o objetivo de investigar o trecho da região da costa do continente. Foi durante essa expedição que ocorreu a descoberta do primeiro meteorito da região, caracterizando-a como a primeira observação astrogeológica da Antártica. Depois desse episódio, geólogos russos passaram a descobrir uma grande variedade de meteoritos pela região, de modo que em 1969 foi criado pelos soviéticos o primeiro programa formal de pesquisa de meteoritos do país. Essa iniciativa contribuiu muito para que mais tarde, milhares de outros meteoritos viessem a ser encontrados no continente da Antártica [1].

De modo geral, o estudo desses objetos e suas possíveis relações com os dife-

rentes processos físicos e químicos durante a sua formação e possíveis modificações que ocorrem ao longo do tempo cósmico são imprescindíveis para buscar entender certas questões como, por exemplo, a origem da vida na Terra e a constituição dos seres vivos. Assim, buscaremos apresentar como a astrogeologia pode, de uma maneira multidisciplinar, se relacionar com a física, química, biologia, geologia, astronomia e outras áreas do conhecimento científico, de modo a auxiliar e elucidar certas questões vinculadas à Terra e ao Sistema Solar.

Processos físicos no Universo e a conexão entre a astrogeologia e a física

Os debates científicos e as ideias relacionadas à origem da vida na Terra ocorrem há várias décadas. Basicamente, acredita-se que a interação entre a radiação e as espécies químicas provenientes do meio interestelar (MI) poderia ser uma das principais fontes do aumento da complexidade química em nível molecular, ou seja, do aumento do número de átomos nas moléculas do MI. Nesse caso, o surgimento da vida em nosso planeta poderia ter acontecido a partir da interação e da combinação dessas moléculas orgânicas exógenas, as quais teriam sido trazidas

para a Terra por meio de objetos extraterrestres como, meteoritos e cometas [2]. Todo esse processo possui aspectos que envolvem relações entre a física, a química e a astronomia.

Atualmente, os estudos de processos físicos que ocorrem em nosso Sistema Solar a partir de cometas, asteroides, meteoroides e meteoritos têm se tornado um novo campo a ser explorado. Embora, os termos *meteoroides*,

Com o avanço e desenvolvimento tecnológico é possível analisar processos evolutivos geológicos de planetas, como Marte, ou mesmo de luas distantes de nosso sistema planetário, como Europa, Titã e Io

A astrogeologia é um campo de pesquisa recente e em desenvolvimento que se apresenta como uma área de conhecimentos multidisciplinares e com fortes relações com a física aplicada. Embora a geologia seja a área que procura entender a composição e a estrutura evolutiva da Terra, através das rochas, dos minerais e do vulcanismo, ela não está restrita a estudar apenas materiais de nosso planeta. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico é possível analisar processos evolutivos geológicos de outros planetas ou até mesmo de outras luas de nosso sistema planetário. Além disso, a astrogeologia tem auxiliado na busca por respostas relacionadas à possibilidade de a vida ter se formado a partir de matéria-prima oriunda do espaço. Essencialmente, esses estudos são direcionados aos diversos processos físicos que ocorrem em nosso Sistema Solar com objetos extraterrestres. De modo geral, a interação entre a radiação e as espécies químicas no meio interestelar, poderia desencadear reações químicas como a ionização, a síntese e a quebra de ligações entre moléculas de maneira a promover possíveis processos de recombinações moleculares. Assim, o entendimento de como a astrogeologia se relaciona com diversas áreas do conhecimento científico, dentre elas a física, pode contribuir com pistas de como alguns precursores de compostos químicos de interesse biológico poderiam ter se formado no meio interestelar.

meteoro e meteorito tenham a mesma raiz grega “meta”, a qual gerou ‘meteor(o)’ e serem o mesmo material astrofísico, existem certas diferenças e conceitos que os distinguem entre si. Essencialmente, temos que os *meteoroides* são corpos que se encontram no Universo, com tamanhos variados em torno de 10 μm a alguns milhares de metros, e que circulam pelo meio interplanetário de forma a estarem suscetíveis a cair na Terra devido à ação da gravidade. Quando esses objetos celestes entram em nosso planeta, basicamente, provocam um fenômeno visual de rastros luminosos, o qual é associado à sua passagem através da atmosfera terrestre. Em geral, é mais fácil de observar esses clarões cruzando rapidamente e repentinamente o céu em cidades distantes, com baixa poluição luminosa, em praias ou em campos durante noites límpidas e sem luar. Esse fenômeno, popularmente conhecido como “estrela cadente”, na verdade, são os corpos celestes cientificamente denominados *meteoros*. Por fim, os meteoróides que conseguem “vencer” a atmosfera terrestre, por terem tamanho e resistência suficiente para sobreviver à queima como meteoro, e que caem sobre a superfície terrestre são chamados de *meteoritos*.

Dessa forma, os meteoritos são artefatos astrofísicos que podem ser provenientes de materiais ejetados de planetas, satélites ou de corpos celestes como meteoroides, asteroides e cometas. Porém, uma parte desses objetos é oriunda da nebulosa solar, de um material forjado no início da formação de nosso sistema solar. De acordo com Portugal, [3] quando realizamos observações e estudos astronômicos relacionados com esses diferentes corpos do sistema solar e fazemos a combinação com pesquisas laboratoriais através de amostras de meteoritos, é possível encontrar uma grande quantidade de moléculas orgânicas. Por definição, moléculas orgânicas possuem o Carbono (C) como elemento principal de sua formação estrutural e que segundo Lynn Margulis, em seu livro *O Que É Vida?*, é um dos elementos que constituem os seres orgânicos vivos em nosso planeta [4].

Desse modo, os estudos vinculados à astrogeologia têm buscado respostas sobre a possibilidade de a vida ter sido ou não originada de maneira exógena, ou seja, a partir de matéria-prima oriunda de fora da Terra [5]. Nessas hipóteses, supõe-se que as moléculas de aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, álcoois, nucleobases e açúcares, fundamentais para a química pré-biótica, teriam sido trazidas ao nosso planeta em seus 700 milhões de anos ini-

ciais por meio de impactos de cometas e meteoritos, dando início assim à vida na Terra [6].

É importante ressaltar que os maiores registros de aminoácidos extraterrestres que temos são provenientes de meteoritos. As evidências vêm, basicamente, de meteoritos como o Allende e o Murchison, pertencentes ao grupo de meteoritos denominados carbonáceos. De modo geral, os meteoritos pertencentes a esse grupo são caracterizados por possuírem o elemento carbono como um dos materiais que compõem a sua formação estrutural. O Allende, além de ter sua relevância científica por ser caracterizado como um meteorito carbonáceo, também é um meteorito extremamente importante devido a ser uma das rochas extraterrestres mais resistentes ao intemperismo do ambiente terrestre. O meteorito Murchison, por sua vez, possui mais de 50 tipos de moléculas orgânicas detectadas em sua formação química estrutural. Fundamentalmente, acredita-se que essas moléculas podem ter sido formadas por interações entre a radiação no meio interestelar e os átomos desses objetos. Assim, esses processos físicos desencadeariam reações químicas como a ionização, síntese de moléculas e também a quebra de ligações entre elas de maneira a promover possíveis processos de recombinações moleculares [7].

Os meteoritos marcianos são outro exemplo de objetos astrofísicos de extrema

relevância para pesquisas em astrogeologia. Atualmente, reconhecemos mais de 100 meteoritos marcianos, relacionados na forma de basaltos, rochas máficas e ígneas intrusivas [8]. Esses meteoritos oriundos do planeta vermelho fornecem informações relacionadas à possibilidade de saber se no presente ou no passado recente de Marte existiram condições de habitabilidade, em que a vida poderia ter se estabelecido [9]. Embora a maioria dos registros geológicos tenha sido destruída, assim como aconteceu na Terra, a evolução geológica da superfície marciana, suas

informações físicas e características químicas ainda podem ser estudadas através dos meteoritos marcianos por meio de técnicas experimentais em laboratórios [9-10].

Embora o meteorito marciano ALH 84001 ainda seja muito

controverso, o mesmo permanece sendo utilizado bastante como referência em pesquisas que buscam vestígios de informação biológica em meteoritos marcianos. Segundo McKay *et al.*, 1996, foram encontrados nesse meteorito marciano cristais de magnetita e estruturas semelhantes a microrganismos fossilizados, como ilustrado na Fig. 1. Um ponto extremamente intrigante nessa pesquisa é o fato de existirem microrganismos na Terra capazes de biomineralizar cristais de magnetita de maneira natural. Esses organismos são conhecidos como bactérias magnetotáticas [11-12].

Supõe-se que as moléculas de aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, álcoois, nucleobases e açúcares teriam sido trazidas ao nosso planeta em seus 700 milhões de anos iniciais por meio de impactos de cometas e meteoritos, dando início assim à vida na Terra

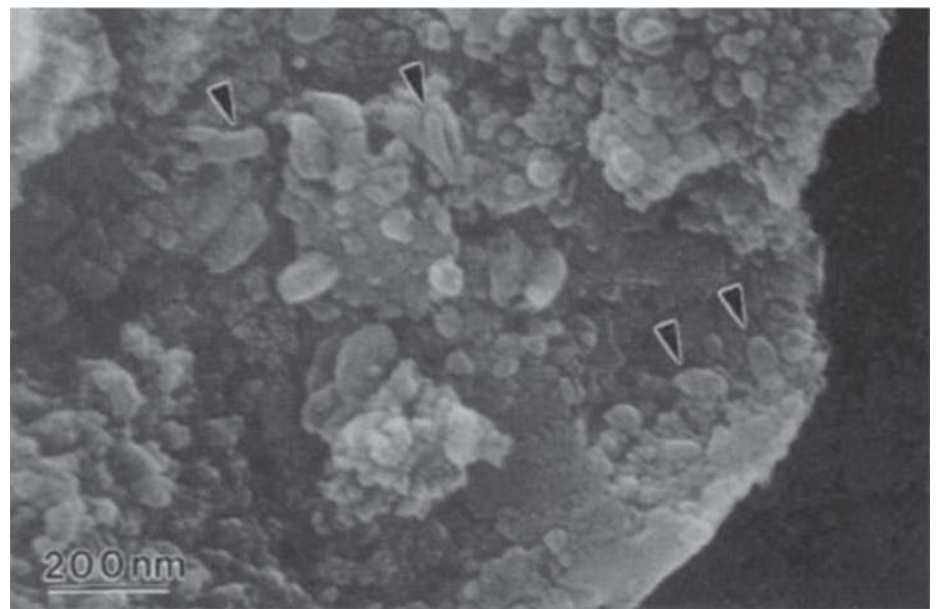


Figura 1: Imagem de microscopia eletrônica com indicações de possível presença de magnetita e bactérias magnetotáticas. Fonte: McKay *et al.* (1996).

Outro estudo com meteorito marciano foi desenvolvido recentemente por pesquisadores brasileiros da UERJ e da UFRJ. Basicamente, no artigo dessa pesquisa foi apresentada uma imagem de microtomografia de raios X em que uma estrutura de formato extremamente peculiar encontra-se incrustada no meteorito marciano NWA 6963 (Fig. 2). De acordo com Nascimento-Dias *et al.*, 2017, é possível que essa estrutura contenha informações relacionadas às condições de habitabilidade que poderiam ter existido no passado de Marte, pois esse material poderia ser feito de *calcita*, que na Terra tem origens biológicas ou químicas. No caso biológico, esse material poderia ser vestígio de material fossilizado de microrganismos [14]. A outra possibilidade é que esse material tenha se formado quimicamente, e isso somente aconteceria em um ambiente em que houvesse água. Nesse segundo caso, pelo fato da necessidade de água para a produção desse material, também podemos pensar na possibilidade de que em algum momento houve vida ou um ambiente propício em Marte, sustentado por essa água. Além disso, é possível que essa água do passado do planeta vermelho possa ainda se encontrar abaixo da superfície marciana, pois o material analisado é um meteorito que possui apenas alguns milhões de anos, algo extremamente recente na escala astronômica.

A relação entre algumas áreas da física e a astrogeologia

Já é bem estabelecido pelos estudos da astrogeologia e das ciências planetárias que mediante grandes colisões de asteroides ou cometas, fragmentos de planetas como, por exemplo, Marte podem ter sido ejetados de suas superfícies. Contudo, ainda se encontra em aberto a questão de

essas rochas poderem abrigar algum tipo de vida que pudesse sobreviver a uma viagem interplanetária. Para isso, esse organismo precisaria ser obrigatoriamente capaz de resistir a fatores extremos como as altas taxas de radiação e as baixas temperaturas do meio interplanetário, além das altas temperaturas de reentrada e diversos outros fatores aos quais ficariam expostos durante a viagem.

Para tentar identificar a possibilidade de isso realmente acontecer são realizadas pesquisas em áreas como a geologia e a físico-química. Atualmente, por exemplo, existem estudos relacionados à realização de simulações e estudos experimentais sobre formação e destruição de moléculas orgânicas no meio interestelar. Esses estudos buscam entender como essas moléculas adsorvidas ou retidas em cometas, asteroides ou meteoroides se comportam após ficarem expostos a períodos de tempo compatíveis a uma viagem interplanetária ou estelar. Também existem pesquisas feitas por físicos, biólogos e astrônomos com bactérias que são submetidas a vácuo, radiação solar, raios cósmicos e flutuações de temperatura. Em geral, o intuito dessas experiências é testar a resistência desses microrganismos a uma hipotética viagem interplanetária [15]. Dentre essas experiências é possível elencar o experimento PROTECT realizado durante a missão EXPOSE-E a bordo da Estação Espacial Internacional, em que os esporos de *Bacillus subtilis* 168 e *Bacillus pumilus* SAFR-032 foram expostos durante 1,5

No meteorito marciano NWA 6963 é possível relacionar informações das condições de habitabilidade que poderiam ter existido no passado de Marte, pois esse material poderia ser feito de *calcita*, que na Terra tem origens biológicas ou química. No caso biológico, esse material poderia ser vestígio de material fossilizado de microrganismos

anos [16]. Essas bactérias formadoras de esporos foram escolhidas por serem bastante resistentes e poderem suportar certos procedimentos de esterilização, bem como os ambientes agressivos do espaço exterior ou de superfícies planetárias [17]. Assim, esse tipo de pesquisa visa estudar a possibilidade de sobrevivência de microrganismos em ambientes extremos, ou seja, ambientes que seriam completamente hostis à vida humana, tal como a conhecemos.

De acordo com Portugal, as moléculas orgânicas também podem ser encontradas em cometas. Esses objetos são pequenos e frágeis em relação aos grandes asteroides e possuem formas diversificadas e irregulares. Em geral, os cometas são caracterizados pelos astrônomos, atualmente, como objetos que possuem uma coma, que é um tipo de material difuso semelhante a uma “cauda” que cresce, aumentando de tamanho e brilho, à medida que se aproxima de uma estrela. Esses objetos são compostos em sua maior parte de gelo de diversos elementos químicos, que ao se encontrar longe da estrela perde a “cauda”, de modo a permanecer apenas o seu núcleo sólido. Os núcleos cometários podem variar em tamanho, de algumas centenas de metros até dezenas de quilômetros.

Esses viajantes extraterrestres são ricos em material orgânico e água, que são fatores importantíssimos na Terra e constituintes imprescindíveis na composição dos organismos vivos de nosso planeta [18]. Outro fator interessante é que nesses objetos são trazidas moléculas de carbono que, ao interagirem com a radiação no meio interestelar, podem estar formando os blocos fundamentais para a formação da vida, tais como os aminoácidos e açúcares, de modo a serem a base de formação de moléculas mais complexas.

Segundo Portugal, com a aparição dos cometas Hyakutake e Hale-Bopp houve a possibilidade da coleta de informações de diversas espécies químicas, trazendo um conhecimento ainda maior em relação à composição química dos cometas. Além disso, com essas informações é possível estudar as conexões entre esses corpos e a complexificação em nível molecular. Ainda segundo Portugal, já foram detectadas nos cometas algumas moléculas pré-bióticas importantes tais como H_2O , dióxido de carbono (CO_2), formaldeído

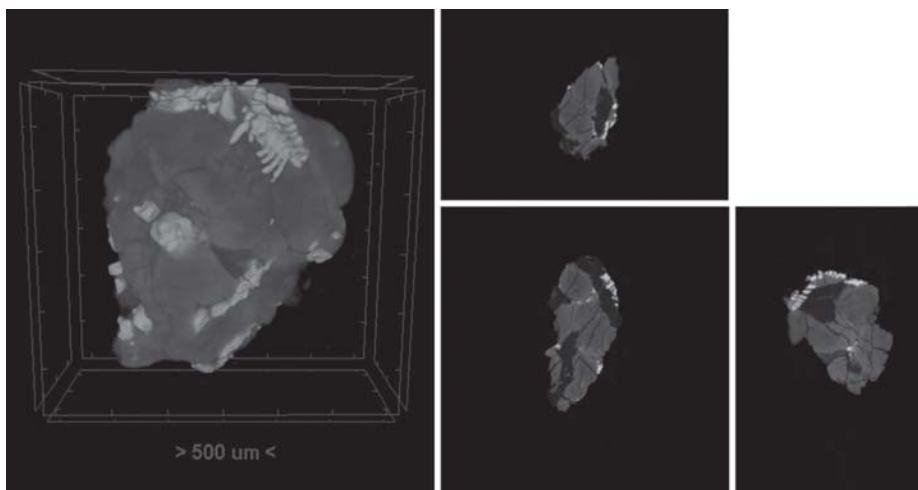


Figura 2: Imagem de microtomografia de raios X obtida do meteorito marciano NWA 6963. Fonte: Nascimento-Dias *et al.* (2017).

(H₂CO), amônia (NH₃), cianeto de hidrogênio (HCN), acetônitrila (CH₃CN), ácido isocianico (HNCO) e sulfeto de hidrogênio (H₂S), além de moléculas mais complexas, como acetaldeído (CH₃CHO), formato de metilo (HCOOCH₃), e formamida (NH₂CHO) [19].

Discussão e conclusão

O intuito principal deste trabalho é divulgar um campo pesquisa recente e em desenvolvimento, a astrogeologia, que se apresenta como uma área de conhecimentos multidisciplinares. É

possível notar que as pesquisas feitas na área de Astrogeologia possuem forte relação com outras áreas do conhecimento científico, tais como a biologia, química e física. Desse modo, a astrogeologia pode contribuir com o desenvolvimento do conhecimento científico de maneira bastante abrangente. De modo geral, através dos meteoritos é possível realizar pesquisas relacionadas à origem da vida na Terra, a possível existência de vida em Marte ou do passado do planeta vermelho, de modo a averiguar se em algum momento em sua história houve

condições de habitabilidade. Além disso, é possível realizar testes de sobrevivência de microrganismos que poderiam eventualmente estar presentes em meteoritos de modo a examinar sua resistência a viagens pelo espaço. Outra questão que pode ser estudada pela astrogeologia é se esses meteoritos podem conter pistas que tenham relação com nossas origens, sendo isso uma pesquisa multidisciplinar (química, física e geologia) através de seus registros químicos, por meio de comparação entre isótopos presentes nesses objetos extraterrestres e seus equivalentes na Terra.

Referências

- [1] B.T. Indurmuehle, M.G. Burton and S.T. Maddison, *PASA* **22**, 73 (2005).
- [2] C. Chyba and C. Sagan, *Nature* **355**, 125 (1992).
- [3] W. Portugal, *Radiólise da Molécula de Glicina Empregando Íons Pesados em Ambientes Astrofísicos Simulados: Implicações em Astroquímica e Astrobiologia*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Paraíba, São Paulo, 2013.
- [4] L. Margulis and D. Sagan, *O Que É Vida?* (Zahar, Rio de Janeiro, 2002).
- [5] C.F. Chyba, P.J. Thomas, P.J. Brookshaw, and C. Sagan, *Science* **249**(4967), 366 (1990).
- [6] D.A.M. Zaia, *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas* **25**, 3 (2004).
- [7] A. Damineli, *Revista USP* **62**, 38 (2004).
- [8] F.M. McCubbin and R.H. Jones, *Elements* **11**, 183 (2015).
- [9] E.K. Gibson, D.S. McKay, K.L. Thomas-Keprta, S.J. Wentworth, F. Westfall, A. Steele, C.S. Romanek, M.S. Bell and J. Toporski, *Precambrian Research* **106**, 15 (2001).
- [10] F. Nimmo and K. Tanaka, *Earth planet Sci.* **33**, 133 (2004).
- [11] D.S. Mackay, E.K. Gibson Jr., K.L. Thomas-Keprta, H. Vali, C.S. Romanek, S.J. Clemett, X.D.F. Chillier, C.R. Maechling and Richard N. Zare, *Science* **273**, 924 (1996).
- [12] K.L. Thomas-Keprta, S.J. Clemett, D.A. Bazylinski, J.L. Kirschvink, D.S. McKay, S.J. Wentworth and C.S. Romanek, *Applied and Environmental Microbiology* **68**, 3663 (2002).
- [13] B.L. Nascimento-Dias, D.F. Oliveira, A.S. Machado, O.M.O. Araújo, R.T. Lopes and Ma.J. Anjos, *X-Ray Spectrometry* **47**, 86 (2018).
- [14] J.I. da Silva Faria, *Rochas Sedimentares Biogênicas: O Papel do Jogo na Aprendizagem Científica*. Relatório de Estágio (2016), disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/92129?mode=full>.
- [15] M. Wassmann, R. Moeller, E. Rabbow, C. Panitz, G. Horneck, G. Reitz, T. Douki, J. Cadet, H. Stan-Lotter, C.S. Cockell and P. Rettberg, *Astrobiology* **12**, 498 (2012).
- [16] E. Rabbow, P. Rettberg, S. Barczyk, M. Bohmeier, A. Parpart, C. Panitz, G. Horneck, R. von Heise-Rotenburg, T. Hoppenbrouwers, R. Willnecker, *et al.*, *Astrobiology* **12**, 374 (2012).
- [17] G. Horneck, R. Moeller, J. Cadet, T. Douki, R.L. Mancinelli, Wa.L. Nicholson, C. Panitz, E. Rabbow, P. Rettberg, A. Spry, *et al.*, *Astrobiology* **12**, 445 (2012).
- [18] J. Llorca, *Int. Microbiol.* **7**, 239 (2004).
- [19] L.E. Orgel, *As Origens da Vida: Moléculas e Seleção Natural* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1988).



As leis da termodinâmica, Sadi Carnot e as transformações sociais

.....
Ingrid Kelly Laura dos Santos Pinto
Grupo de História da Ciência e Ensino,
Universidade Estadual da Paraíba,
Campina Grande, PB, Brasil
E-mail: i.k.laurasantos@gmail.com

Ana Paula Bispo da Silva
Departamento de Física, Grupo de
História da Ciência e Ensino,
Universidade Estadual da Paraíba,
Campina Grande, PB, Brasil
E-mail: anabispouepb@gmail.com
.....

Introdução

Um céu cheio de nuvens, fumaça saindo pelas chaminés, pessoas sujas de carvão. Revolta com as condições salariais, fome e desemprego, como pode ser visto em filmes como *Germinal*, adaptado da obra de Émile Zola. Essas imagens se contrapõem à Paris da Fig. 1, a Cidade das Luzes, em que o quadro de um palácio iluminado ilustrava o conhecimento que chegava com a eletricidade. Mas as duas situações retratam a França, e talvez outros países europeus, durante o século XIX. Como pode? O conhecimento não trazia avanços, progressos? E, principalmente, o que essa introdução tem a ver com o título deste texto?

O objetivo deste artigo é situar o tra-

balho de Sadi Carnot sobre as máquinas térmicas sob diferentes perspectivas. Primeiro discutiremos como as leis da termodinâmica, da forma como são adotadas atualmente, não correspondem ao seu desenvolvimento histórico e, portanto, não podem ser atribuídas a um ou outro personagem da história da física. Depois nos aprofundaremos no trabalho de Carnot publicado em 1824 e discutiremos como, apesar de partir de pressupostos diferentes, seus resultados podem ser aplicados atualmente. Por fim, discutiremos como o momento histórico em que vivia Carnot está presente em seu trabalho. Dessa maneira, pretendemos mostrar que a abordagem histórica das leis da termodinâmica permite explorar relações entre ciência e tecnologia, bem como discutir

Muitos conceitos que aparecem nos livros didáticos acompanham um breve resumo histórico, atribuindo posse, datas e locais a leis, fórmulas e equações. É o caso das leis da termodinâmica, das quais Carnot é o “dono”. Entretanto, um estudo histórico contextualizado do trabalho de Carnot e das leis da termodinâmica mostra que conceitos mudam com o tempo e o contexto sociocultural. Neste artigo discutimos como a abordagem histórica das leis da termodinâmica permitem entender como ciência, tecnologia e sociedade estão inter-relacionadas.



Figura 1: Le Chateau d'eau and plaza, with Palace of Electricity, Exposition Universelle, 1900, Paris, France. Fonte: Library of Congress Prints and Photographs Division Washington, D.C. 20540 USA.

as influências mútuas entre ciência e contexto sociocultural.

As leis da termodinâmica

Ao discutirmos as leis da termodinâmica no Ensino Médio, por vezes aparece uma questão cronológica: a lei zero veio depois da primeira lei, a segunda lei veio antes da primeira e outras divagações. Afinal por que as leis estão “ordenadas” dessa maneira?

Historicamente, estas “leis” apareceram em momentos quase simultâneos e de forma independente. Sua “ordenação” ocorreu num momento muito posterior, em que já havia muito conhecimento sobre termodinâmica, e, possivelmente, mais com fins didáticos do que de ordenação do conhecimento de um conteúdo.

Aquilo que denominamos atualmente de “primeira lei da termodinâmica” está relacionado com as ideias de conservação de energia. Estudos relacionados à conservação e transformação de energia ocorreram durante o século XIX por estudiosos em vários países ao mesmo tempo, sem que fosse adotado o nome *energia*. Julius Robert von Mayer (Alemanha, 1814-1878), James Prescott Joule (Inglaterra, 1818-1889) e outros, por volta de 1850, investigavam como determinadas forças se transformavam em outras, ou mudavam de forma. Por exemplo: forças liberadas em reações químicas pareciam fornecer calor (outro tipo de força) ou transformavam-se em forças elétricas [1]. Calor podia ser utilizado para força mecânica (o que denominamos atualmente de trabalho). As transformações das forças eram baseadas em diferentes hipóteses, muitas delas originárias de pressupostos filosóficos. O que levava um estudioso a investigar que formas as forças podiam assumir nem sempre estava claro [2, 3]. Ludwig August Colding (Dinamarca, 1815-1888), um dos estudiosos que investigavam as transformações das forças, afirmou: “Todas as vezes que uma

força parece se aniquilar realizando um trabalho mecânico, químico ou de qualquer outra natureza, ela apenas se transforma e reaparece sob uma nova forma, onde ela conserva toda a sua

grandeza primitiva” [2]. O que eles chamavam de *força* é muito semelhante ao que chamamos atualmente de *energia*. Por exemplo, Mayer define força como “coisas que podem assumir diferentes formas, mas cuja quantidade não varia,

Historicamente, as “leis” apareceram em momentos quase simultâneos e de forma independente. Sua “ordenação” ocorreu num momento muito posterior, em que já havia muito conhecimento sobre termodinâmica

e que se distinguem da matéria por não possuírem peso” [3, p. 66]. Nesse sentido, calor, movimento e força de queda são equivalentes ao que denominamos hoje energia térmica, energia cinética e energia potencial [3, p. 67]. A transformação de uma força em outra, de modo que, no geral, haja a conservação da grandeza primitiva, como afirma Colding, é muito semelhante ao “princípio de conservação da energia” que utilizamos atualmente. Nenhum destes estudiosos escreveu a primeira lei da termodinâmica como fazemos hoje. Cada um deles estava investigando as transformações das forças com objetivos e hipóteses diferentes. Chegaram a um resultado muito semelhante, que é a existência de uma equivalência entre as formas que as forças assumem. Por exemplo: havia uma equivalência entre a quantidade de calor (calor era uma das muitas formas da força) fornecida para uma máquina e a força mecânica que essa máquina realizava (movimento). O que podemos concluir é que a primeira lei da termodinâmica estava mais baseada em pressupostos teóricos e filosóficos do que propriamente numa observação empírica.

A “segunda lei da termodinâmica” apareceu num contexto diferente. Nas primeiras décadas do século XIX, engenheiros e estudiosos independentes buscavam encontrar uma máquina que produzisse mais, consumindo menos combustível. Portanto, esses estudiosos estavam preocupados com o rendimento das máquinas térmicas. Isso significava encontrar uma máquina térmica que aproveitasse quase todo o combustível, utilizado no aquecimento, para produzir trabalho. Há registros de patentes de várias máquinas térmicas criadas nesse período, principalmente entre os ingleses [4]. Para construir máquinas térmicas mais rentáveis não era preciso dominar o conhecimento sobre a natureza do processo. A natureza do processo era a

mesma para qualquer máquina: calor produzindo trabalho. Para dominar esse processo, era preciso ter conhecimentos técnicos e levar em consideração problemas técnicos e questões práticas.

Portanto, o desenvolvimento das máquinas térmicas é mais pertinente à história da tecnologia do que à história da ciência.

Porém, se a natureza do processo fosse mais bem conhecida, ou seja, o enten-

dimento das condições que proporcionavam o rendimento da máquina, isso poderia levar a uma melhoria da tecnologia que o empregava. Quem vai formalizar esse rendimento mínimo desejado é o engenheiro e militar Sadi Carnot (1796-1832), num trabalho que ele publicou em 1824, anteriormente à discussão já feita aqui sobre a transformação das forças.

Tanto nos estudos sobre transformações de forças quanto naqueles preocupados com máquinas térmicas, considerava-se implicitamente que o calor ia do corpo de temperatura mais alta para aquele de temperatura mais baixa, como se ele se movesse, seja como fluido ou através do atrito das menores partes da matéria. Mas essa “lei” só foi explicitada e entendida como “lei” depois de 1824.

Ou seja, não é possível especificar uma data, um nome, um lugar, nem mesmo uma finalidade, para as leis da física, principalmente para as leis da termodinâmica. Elas não têm “donos” nem foram determinadas da mesma forma e com a mesma intenção. Há todo um complexo desenvolvimento por trás das equações e fórmulas que utilizamos nos livros didáticos. Apenas a compreensão dos aspectos históricos de forma contextualizada permite entendermos o papel do conhecimento científico, seja na sala de aula ou na sociedade de forma geral.

Sadi Carnot

Nicolas Léonard Sadi Carnot (Fig. 2) nasceu em 1º de junho de 1796, em Palais du Petit Luxembourg. Era o filho mais velho de Lazare Carnot (1753-1823), o qual



Figura 2: Imagem de Nicolas Léonard Sadi Carnot com uniforme da École Polytechnique. Disponível em http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Carnot_Sadi.html. Acesso em 05/10/2017.

sempre teve papel importante na sociedade francesa. Lazare participou da política local e estudou engenharia mecânica, chegando a publicar o livro *Essai Sur les Machines em Général (Ensaio Sobre as Máquinas em Geral)*, em 1783. Por ver que seu filho possuía aptidão pelas ciências exatas, decidiu colocá-lo na École Polytechnique (Escola Politécnica), local em que estudava apenas a elite intelectual francesa [5]. A Politécnica na época era voltada principalmente para as engenharias e a arte militar, exaltando o progresso tecnológico e industrial, assim como pregavam os ideais do Conde de Saint Simon, Claude-Henri de Rouvroy (1760-1825).

Sadi Carnot, assim como seu pai, entrou na vida militar, em março de 1814. Juntamente com outros estudantes, lutou contra as forças invasoras durante o reinado de Napoleão e

Em seu trabalho, Carnot adota o calórico, ou seja, calor como fluido

em outubro desse mesmo ano se tornou segundo-tenente, estudando na École du Génie, em Metz. Em 1819 abandonou a vida militar e passou a se dedicar aos estudos e pesquisas sobre o desenvolvimento industrial, em particular as máquinas térmicas. No livro de Carnot o termo utilizado é *machines à vapeur* (máquina a vapor) e/ou *machines à feu* (máquina a fogo). Neste artigo utilizaremos o termo máquina térmica de forma geral, uma vez que o sentido atribuído por Carnot é o mesmo. Carnot teve como grande influenciador Nicolas Clément (1779-1841), professor do Conservatório de Artes e Ofício, e estudioso das máquinas a vapor e da teoria dos gases [5, 6]. Nessa época, a Inglaterra destacava-se como potência graças à máquina a vapor. Era natural, portanto, para um engenheiro e militar francês, supor que a França poderia seguir os mesmos caminhos da Inglaterra se dominasse a ciência das máquinas a vapor.

Assim, após a morte de seu pai, em agosto de 1823, o irmão mais novo de Sadi, Hippolyte (1801-1888), retornou a Paris e o ajudou em sua primeira obra: *Reflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer Cette Puissance (Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo e sobre as Máquinas Apropriadas para Desenvolver essa Potência)*. Essa obra foi publicada em 12 de julho de 1824.

Nesta obra, Carnot apresenta um estudo detalhado sobre gases e sua aplicabilidade nas máquinas térmicas. A todo momento, entre os cálculos e deduções matemáticas, Carnot se volta para as máquinas térmicas e aplica seu conhecimento. Ele considerava que as máquinas

térmicas funcionavam com a troca de calórico entre reservatórios e, nessa troca, havia a produção de trabalho. Calórico era o termo atribuído ao calor enquanto fluido, que passava do corpo de temperatura mais alta para o corpo de temperatura mais baixa. O calórico era considerado um fluido imponderável, que não podia ser visto ou pesado, mas as transformações envolvendo variação de temperatura levavam ao seu reconhecimento. Para mais detalhes, sugerimos a leitura de Silva *et al.* [7]. Carnot associava às máquinas térmicas o mesmo conhecimento que já se tinha das máquinas “mecânicas”, como força animal, quedas d’água, ou seja, um conhecimento geral que independe do combustível e da forma de aplicação. A

produção do poder motor é devida ao estabelecimento do equilíbrio do calórico, ou seja, seu transporte do corpo mais quente para o mais frio. Só pode haver utilidade (movimento) da máquina térmica se houver uma diferença de temperatura (movimento do calórico). Assim, o calórico funciona como uma queda d’água. Na queda d’água, a potência depende da diferença de altura entre os reservatórios mais baixo e mais alto. Para o calórico, a potência depende da diferença de temperatura entre os reservatórios frio e quente [8, p. 6].

Utilizando-se dessa analogia e considerando os conhecimentos já existentes sobre teoria dos gases e calorimetria, dentre outros, ele faz a análise teórica e matemática dos processos envolvidos no funcionamento das máquinas térmicas e chega a algumas conclusões importantes. Considerou um experimento imaginário (cíclico) em que variavam as grandezas pressão, volume e temperatura, fazendo com que os estados iniciais e finais fossem iguais. A partir desse ciclo, Carnot chegou às seguintes conclusões: 1) o poder motor é independente dos agentes (combustíveis) empregados para realizá-lo; sua quantidade é determinada somente pelas temperaturas dos corpos entre os quais é efetuada, no fim, a transferência de calor [8, p. 20] e 2) quando um gás passa, sem mudar a temperatura, de um volume e pressão definidos para outro volume e outra pressão igualmente definidos, a quantidade de calórico absorvida ou cedida é sempre a mesma, qualquer que seja a natureza do gás escolhido como objeto do experimento [8, p. 22].

O diagrama de pressão, volume e temperatura que representa o ciclo de Carnot foi apresentado por Clapeyron em 1834

Depois, ainda a partir do ciclo adotado e considerando o conhecimento sobre gases já determinado por estudiosos como Gay-Lussac, Mariotte, Desormes, Delaroché, Carnot chegou às conclusões: 3) a diferença entre o calor específico sob pressão constante e calor específico sob volume constante é a mesma para todos os gases (baseando-se nos estudos do som e dos gases já conhecidos) [6; 7; 8, p. 24] e 4) quando um gás varia de volume, sem mudar a temperatura, a quantidade de calor absorvida ou cedida está em progressão aritmética, enquanto as variações de volume estão em progressão geométrica [8, p. 28]. Considerando as aproximações feitas, as conclusões de Carnot atendiam ao que se observava até então.

Porém, Carnot deixou um problema em aberto. Se a quantidade de calor devida à mudança de um gás é tanto mais considerável quanto mais elevada seja a temperatura, por que se observa que “a queda de calórico produz mais poder motriz nos graus inferiores que nos graus superiores” [6, p. 72]? Ou seja, consideremos dois conjuntos de reservatórios quente e frio. No primeiro conjunto, as temperaturas fria e quente são 10° e 60°, respectivamente. No segundo conjunto, as temperaturas são 60° e 110°. A diferença de temperatura é a mesma entre os reservatórios. Carnot concluiu que o rendimento seria maior no primeiro caso do que no segundo. Considerando suas premissas, e o conhecimento que já possuía, Carnot não conseguiu explicar isso.

Ainda que partisse de uma concepção de calor diferente do que temos hoje (energia em movimento), os resultados de Carnot são muito próximos do que utilizamos atualmente. No entanto, mesmo enfatizando as aplicações práticas das máquinas térmicas já conhecidas, o que era o mais importante para o contexto, o trabalho de Carnot não foi reconhecido e permaneceu esquecido. Antes de morrer, em 1832, Carnot ainda realizou mais estudos sobre máquinas térmicas em que introduzia as novas discussões que apareciam na Academia, a exemplo dos experimentos de Rumford, que consideravam o calor como movimento. Contudo, esses estudos não foram publicados [8, p. xiii].

Em 1834, Émile Clapeyron (1799-1864) recuperou o trabalho de Carnot, corrigindo alguns erros e refazendo suas análises. Diferentemente de Carnot, o trabalho de Clapeyron concentrava-se na resolução analítica dos problemas associa-

dos às máquinas e não em questões práticas. Foi Clapeyron quem transformou o ciclo de Carnot num diagrama. O trabalho de Clapeyron também não foi reconhecido imediatamente. Somente após 1843, quando o trabalho de Clapeyron foi traduzido para o alemão, tanto ele quanto Carnot passaram a ser reconhecidos e serviram como base para Rudolf Clausius (1822-1888) introduzir o conceito de entropia. Clausius desenvolveu o trabalho de Carnot considerando o calor como movimento e conseguiu explicar o problema que ele havia deixado em aberto.

Outro exemplo de reconhecimento tardio do trabalho de Carnot é a introdução da temperatura absoluta por William Thomson (Lorde Kelvin - 1824-1907), num trabalho de 1848. Segundo Kelvin, o efeito mecânico produzido por uma determinada quantidade de calor seria uma escala absoluta, já que Carnot havia mostrado que o trabalho realizado pelas máquinas térmicas dependia apenas das temperaturas e não da substância [9]. Ou seja, a definição de escala Kelvin, que hoje utilizamos como “grau de agitação das moléculas”, partiu de considerações que inicialmente nem pressupunham a existência de moléculas!

Apenas em 1865, quando Rudolf Clausius publica seu trabalho sobre entropia (*Sobre uma forma modificada do segundo teorema da teoria mecânica do calor*), a “segunda lei” fica conhecida. Nesse momento, o equivalente calor-trabalho da conservação da energia já estava sendo aceito e as discussões sobre a natureza do calor tinham se encaminhado para o calor como movimento. Portanto, quando as ideias de Carnot foram finalmente aceitas, outras concepções estavam vigentes.

As transformações sociais

O entendimento das ideias de Carnot foi feito durante um contexto científico e social muito diferente daquele em que haviam sido divulgadas inicialmente. Durante o século XIX, muitas mudanças estavam ocorrendo na sociedade, principalmente na Inglaterra, na França e na Alemanha, pátrias dos estudiosos citados no texto [10, 11]. Muitas dessas mudanças foram causa ou consequência de fenômenos envolvendo termodinâmica, ou seja, não é possível dissociar o conhecimento científico dos motivos que o provocaram ou que foram resultado dele.

Sendo assim, vamos tentar situar qual era o contexto social em que Carnot

Sugestão para o professor

Esse tema pode ser abordado na forma de projeto envolvendo várias disciplinas, como história, literatura, geografia, química, física e biologia. Os ideais de Augusto Comte influenciaram tanto a Europa quanto o Brasil e tiveram larga extensão, como a criação das escolas politécnicas, as reformas na saúde, os movimentos eugenistas etc. Também é possível questionar sobre o método científico, seus pressupostos e sua validade diante do papel que a ciência tem na sociedade. Além da bibliografia indicada, alguns documentários e filmes podem enriquecer o projeto, como:

- filme e livro *Germinal* de Émile Zola.
- *O Positivismo no Brasil*. Disponível em <https://youtu.be/-yiVQTZrRfg>. Acesso em 5/10/2017.
- A revolta da vacina. Disponível em <https://youtu.be/SBLVc8BWsnY>. Acesso em 5/10/2017.

Revistas de divulgação científica sobre o tema

A Ciência na Era dos Inventores – História da Ciência – *Scientific American Brasil*, ed. n. 4).

Entropia: A Medida da Desordem do Universo, *Ciência Hoje*, v. 54, n. 323, março 2015.

desenvolveu seus trabalhos. Um dos marcos a considerar é a revolução industrial na Inglaterra, que teve seu auge na segunda metade do século XVIII. De caráter econômico, modificou os modos de produção, com a introdução das máquinas a vapor, e trouxe consequências para agricultura, transportes e comunicação, aumento populacional e, mais importante, levou à criação de duas classes sociais: proletários e burgueses. Os burgueses concentravam a renda e os proletários, o trabalho, com mínimas condições de vida. Com a renda que obtinham, os burgueses investiam mais na produção de mais e melhores máquinas, para gerar mais lucro, mais renda e por aí vai. Parte dessa renda era utilizada para financiar estudos, com o financiamento de sociedades científicas e criação de escolas técnicas [10, p. 300]. Já para os operários, as coisas eram bem diferentes. Eram explorados nas minas (extração de carvão), com muitas horas de trabalho, baixos salários e nenhum benefício. O acesso à educação era privilégio dos burgueses, principalmente conhecimento que levasse ao progresso, ou seja, à melhoria das máquinas e da produção.

A diferença entre classes sociais já vinha provocando manifestações entre nobres e burgueses na França

do século XVIII, o que acabou culminando na Revolução Francesa. De caráter mais político, a revolução francesa levou à ascensão da burguesia, que queria ter as mesmas vantagens da burguesia inglesa – ou seja, incentivo para a introdução das máquinas, investimento em melhores



Figura 3: Símbolo da Escola Politécnica. Disponível em <https://www.polytechnique.edu/fr/histoire>. Acesso em 05/10/2017.

condições de produção e, consequentemente, empobrecimento dos proletários e péssimas condições de trabalho [10, p. 305]. O acesso à educação também era privilégio dos burgueses, que tinham a possibilidade de frequentar a Escola Politécnica (*École Polytechnique*), que formava os engenheiros, muitos também militares (afinal, precisavam defender o interesse da classe que estava no poder). Isso explica o símbolo da Escola Politécnica, com os dizeres “pela pátria, as ciências e a glória” (Fig. 3.)

Portanto, ao iniciar o século XIX, o contexto socioeconômico da França e da Inglaterra incentivava o progresso e, admitia-se, esse progresso estava relacionado à melhoria da tecnologia (máquinas) [11, p. 83]. O conhecimento da natureza do processo, o estudo de filósofos e a participação nas sociedades científicas era privilégio dos burgueses. Os proletários, trabalhadores, precisavam aprender a operar e eram apenas treinados.

Já a Alemanha passou por mudanças tardiamente. Somente a partir de 1848, quando houve a unificação dos estados independentes, é que se iniciou um processo de industrialização e reformas edu-

O trabalho de Carnot foi escrito sob a influência do positivismo de Augusto Comte, que baseava-se na organização da sociedade, o que incluía a defesa do regime ditatorial

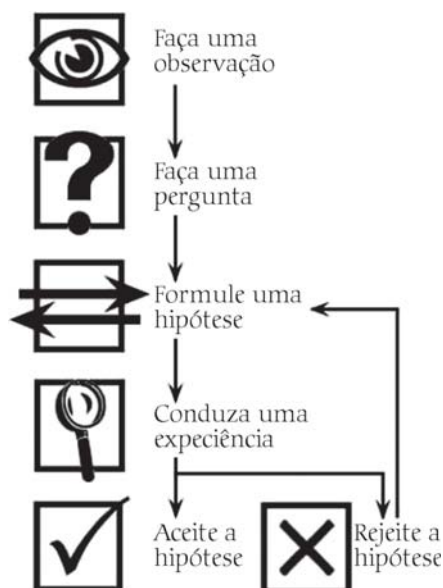


Figura 4: Exemplo adaptado do método científico proposto por Comte. Disponível em http://proficiencia.org.br/article.php?id_article=487. Acesso em 06/04/2018.

acionais. Portanto, entre os estudiosos alemães, os objetivos do conhecimento da natureza eram outros [10, p. 326].

Voltando a Carnot e à termodinâmica. Na França, o estilo de pensamento vai ser representado principalmente por Augusto Comte (1798-1857), um dos fundadores do Positivismo. Adepto das ideias de Saint Simon, baseava-se na organização da sociedade, o que incluía a defesa do regime ditatorial. A organização da sociedade deveria ocorrer assim como ocorria na natureza [10, p.373].

Para Comte, a natureza assumia uma visão mecânica, seguindo regras (leis)

invariáveis. Para conhecer a natureza, o homem deveria basear-se nos fatos observáveis e, a partir da razão, que eliminava causas finais e agentes sobrenaturais, chegar às relações invariáveis de sucessão e similitude. O objetivo era chegar a leis gerais invariáveis que explicassem o funcionamento da natureza. Essa ordenação da natureza através de leis levaria ao conhecimento positivo e ao progresso [12]. O conhecimento positivo não admite dúvidas e, portanto, o método utilizado para adquiri-lo (Fig. 4) deve ser único e presente em todas as ciências que intencionam o conhecimento verdadeiro.

Há muitas semelhanças entre os objetivos de Carnot e os ideais de Comte. Eles são contemporâneos e tinham como visão a natureza funcionando mecanicamente (assim como vários outros estudiosos da mesma época). Para ambos, seria possível encontrar uma lei generalizada, baseada na regularidade da natureza e que levasse a um avanço nas máquinas e, portanto, ao conhecimento positivo que permitia o progresso.

De volta ao início - algumas considerações

Conhecer o contexto em que Sadi Carnot desenvolveu seus trabalhos ajuda a explicar a imagem apresentada no início deste trabalho [13, p. 140], bem como a ordenação das leis da termodinâmica.

Em um tempo em que o conhecimento positivo representava o progresso, a imagem da Paris iluminada pela recém descoberta eletricidade é muito mais atrativa do que aquelas das chaminés emitindo fumaça e ruas cheias de mendigos e proletários rebeldes. O conhecimento positivo também pressupunha uma

linearidade, uma sucessão de verdades que levaria ao real conhecimento da natureza. Daí a ordenação das leis da termodinâmica de forma ahistórica. Afinal, para se conhecer a natureza, partimos da lei zero para depois chegar à lei dois. Não há lugar para agentes sobrenaturais (inobserváveis) e causas finais na organização da natureza.

Por outro lado, desvincular os estudos de Sadi Carnot do contexto pode acabar distorcendo-o. Podemos interpretá-los como símbolo do progresso tecnológico e da busca pela melhoria das condições de vida – e de conhecimento – pelo homem. Mas como foi argumentado no item anterior, o conhecimento positivo era para poucos e também poucos se beneficiaram do “progresso” que ele trouxe. Isso nos leva a questões maiores, como: há relação direta entre ciência, tecnologia e progresso? O que influencia a ciência? E, uma pergunta sem resposta: ciência e tecnologia são boas ou ruins para a sociedade?

Entendemos que, ao discutirmos conceitos de física – no caso, as leis da termodinâmica – inserindo o contexto social com a abordagem histórica, é possível compreender não somente o conteúdo conceitual em si, mas também todas as implicações que ele envolve. Longe do que pressupõe o positivismo, a ciência não traz uma verdade sobre a natureza, mas uma resposta dentre tantas outras possíveis. A escolha por uma resposta envolve vários fatores que vão além da própria ciência.

Agradecimento

Este trabalho contou com o financiamento do CNPq, Edital Universal projeto nº 474924/2012-2.

Referências

- [1] A. P. Chagas, in: *O Saber Fazer e Seus Muitos Saberes: Experimentos, Experiências e Experimentações*, editado por A.M. Alfonso-Goldfarb et al. (Editora EDUC-FAPESP, São Paulo, 2006), p. 337-349.
- [2] A.P.B. Silva e J.A.Silva, *Hist., Ciências, Saúde-Manguinhos* **24**, 3 (2017).
- [3] R.A. Martins, *Cad. Hist. Fil. Cien.* **6**, 63 (1984).
- [4] J.C. Passos, *Anais XXXI Cobenge*, Rio de Janeiro, 2003.
- [5] J.F. Challey, in: *Dicionário de Biografias Científicas*, editado por C. Benjamin (Editora Contraponto, Rio de Janeiro, 2007).
- [6] A. Castignani, *Sadi Carnot e o Desenvolvimento Inicial da Termodinâmica Clássica*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 1999.
- [7] A.P.B. Silva, T.C.M. Forato e J.L.A.M.C. Gomes, *Cad. Bras. Ens. Fis.* **30**, 3 (2013).
- [8] S. Carnot, *Reflections on the Motive Power of Fire* (Dover, New York, 1960).
- [9] W. Thomson, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **29**, 4 (2007).
- [10] M.A. Andery, N. Micheletto, *Para Compreender a Ciência* (Editora Garamond, Rio de Janeiro, 2007).
- [11] E. Hobsbawm, *A Era das Revoluções: 1789-1848* (Editora Paz e Terra, São Paulo, 2010).
- [12] F.S. Santos e I. JUSDENSAIDER, *Prometeica* **10**, 58 (2015).
- [13] D.B.S. Borges e T.C.M. Forato, in: *Histórias das Ciências, Epistemologia, Gênero e Arte: Ensaios para a Formação de Professores*, editado por B.A. Moura e T.C.M. Forato (Editora UFABC, São Paulo, 2017), p. 139-161.



Utilizando o versório de Gilbert magnetizado para verificar o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso em função da distância entre elas



.....

Ronaldo Furtado de Oliveira

Programa de Mestrado em Ensino na Educação Básica, CEUNES/UFES, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.
E-mail: roirriga@gmail.com

.....

Marcia Regina Santana Pereira

Programa de Mestrado em Ensino na Educação Básica, CEUNES/UFES, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.
E-mail: marcia.pereira@ufes.br

.....

Neste trabalho foi realizada uma atividade experimental utilizando um aparato histórico (versório de Gilbert), com o objetivo de verificar experimentalmente o comportamento da força elétrica resultante entre duas cargas em repouso, em função da distância entre elas. Na introdução são dados exemplos de manifestação fenomenológica do cotidiano de formas de eletrização e força elétrica, assim também como uma pequena abordagem histórica sobre o assunto. No decorrer do trabalho foram explorados conceitos físicos e matemáticos. Também foi utilizado um software matemático para desenho de funções chamado GeoGebra. No tópico aparato experimental foi relacionado todo o material necessário para a realização da atividade, assim como a explicação detalhada da construção dos aparatos, e também dicas de onde esses materiais possam ser encontrados. No tópico procedimento experimental foi detalhada passo a passo toda a realização do experimento. Na análise dos dados foram discutidos os resultados obtidos por medidas diretas e experimentais. Foram abordados vários conceitos físicos e matemáticos, assim como a construção de aparatos experimentais utilizando material acessível e de baixo custo. Espera-se que esse trabalho seja uma ferramenta importante para que professores de física do ensino médio e superior possam trabalhar conceitos físicos de forma experimental.

Introdução

Muitas são as estratégias de ensino que os professores buscam implementar para motivar seus alunos a estudar física. Principalmente quando desejamos transmitir uma imagem sobre a ciência e o processo de construção do conhecimento científico mais próximos da realidade, a utilização da investigação ou ensino a partir de problemas, aliados à experimentação tem se mostrado uma alternativa promissora:

Investigando a partir de atividades experimentais, o professor promove o interesse dos alunos com situações problematizadoras. É exatamente a tentativa de resposta a essas questões, a qual leva à elaboração de hipóteses (concepções prévias), que inicia o processo de construção do conhecimento científico de forma ativa e investigativa, e não apenas passiva. A realização do experimento, a análise dos resultados obtidos e a pesquisa documental corroboram ou não as hipóteses, prática pela qual se estimula a interação entre os colegas e com o professor, de modo que se discutam tentativas de explicar determinado conceito ou fenômeno científico e não se imponha determinada visão pronta, abstrata [1, p. 44].

Fenômenos elétricos são comuns em nosso cotidiano, só que na maioria dos casos eles passam despercebidos. Quem, ao aproximar o braço de um televisor de tubo em funcionamento, não sentiu os pelos serem atraídos por ele? Ou quando em dias muito secos ao manusear sacolas plásticas, daquelas que se usam em supermercados e nas bancas de verduras, não sentiu os pelos no braço serem atraídos por ela? De acordo com Assis [2]:

[...] foi com experiências do mesmo tipo que teve início toda a ciência da

eletricidade! Desde Platão (aproximadamente 428-348 a.C.), pelo menos, já se conhecia que o âmbar atritado atrai corpos leves colocados em suas redondezas[...] [2, p.7].

O estabelecimento da Lei de Coulomb

Ao redor de dois milênios depois, segundo Chaves [3], coube a Charles Augustin Coulomb (1736-1806) desenvolver um aparato experimental (balança de torção, ver Fig. 1) utilizado para medir forças entre cargas elétricas e relacionar o comportamento dessa força com a distância entre as cargas. E após realizar medidas diretas ele pôde assim demonstrar, em 1785, a lei do inverso quadrado para forças elétricas. Este autor afirma que:

[...] Contrariamente ao que às vezes se afirma Coulomb foi incapaz de de-

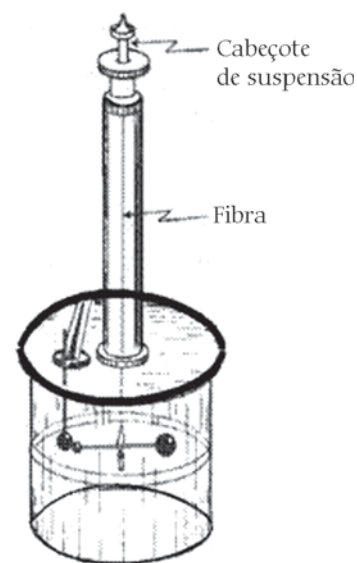


Figura 1: Balança de torção desenvolvida por Coulomb e por ele utilizada para medir forças entre cargas elétricas. Fonte: Ref. [3].

monstrar que a força é proporcional ao produto das cargas, pois não dispunha de um método independente de medir a carga elétrica. Assim, a lei de Coulomb, conforme anunciado abaixo, foi inferida por analogia com a lei da gravitação [3, p.7].

Uma partícula de carga q_1 , no ponto \mathbf{r}_1 , exerce sobre uma partícula com carga q_2 , no ponto \mathbf{r}_2 e em repouso em relação à primeira, uma força \mathbf{F} dada por:

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (1)$$

Desenvolvendo o experimento

O objetivo principal deste trabalho é fornecer uma ferramenta para que professores de física do Ensino Médio e do Ensino Superior possam com seus alunos investigar experimentalmente a relação da força elétrica entre duas cargas em repouso com a distância entre elas. Trabalhar com o regate de um experimento histórico para pesquisar algum fenômeno físico de formar contextualizada poderá ser uma ferramenta muito importante para despertar nos alunos o interesse pela ciência e pelo método científico. De acordo com [4 p.1139].

[...] a reprodução de experimentos históricos relevantes constitui recursos que podem contribuir grandemente para que os estudantes tenham o seu interesse despertado para a construção de novos conhecimentos e, além disso, compreendam alguns aspectos inerentes às ciências, como o seu caráter empírico, que deve ser abordado de modo contextualizado.

E isso poderá ser feito utilizando material de baixo custo e de fácil aquisição. Para isso, vamos utilizar um aparato experimental histórico chamado versório, que foi idealizado por William Gilbert (1544-1603), segundo Assis [2]:

O termo versório vem de uma palavra latina, *versorium*, que tem o significado de instrumento girador ou aparato girante. O versório é um instrumento que normalmente consiste de duas partes: um membro vertical, que age como um suporte fixo em relação à Terra, e um membro horizontal capaz de girar livremente sobre o eixo vertical definido pelo suporte [3, p. 26].

O membro horizontal pode ser feito de vários materiais como madeira, plástico e metal. Para este trabalho foi escolhido o metal para confeccionar o membro horizontal, um colchete nº 06, e para o membro vertical um alfinete nº 32 e uma borracha como base de fixação (Fig. 2).

Como o colchete pode girar livremente



Figura 2: Versório montado com borracha, alfinete nº 32 e colchete nº 06.

te em relação à base, o versório é um instrumento muito sensível a torques externos muito pequenos. Portanto, pode ser utilizado para detectar torques exercidos pela a força elétrica de um corpo eletrizado. A aproximação de um corpo eletrizado de uma das extremidades do versório induz uma redistribuição de cargas nele, atraindo às cargas de sinal oposto as cargas do corpo eletrizado, para a extremidade do versório mais próxima a ele, e expulsando as cargas de mesmo sinal para a extremidade mais afastada. Isso faz com que a extremidade do versório mais próxima ao corpo seja atraída por ele e a extremidade mais afastada seja repelida. Como o movimento do versório é perpendicular à força gravitacional, essa não exerce torque sobre ele. A única força responsável pelo torque é a força elétrica entre a carga do corpo eletrizado e a carga induzida no versório. Assim o versório tende a alinhar-se com as linhas de forças produzidas pelo corpo eletrizado (Fig. 3).

Nesse caso, o versório é capaz de verificar se um corpo está eletrizado e mostrar a direção das linhas de força do campo elétrico emitido por ele, embora seja mais difícil saber a intensidade da força elétrica existente entre o corpo eletrizado e o versório, tampouco fazer uma relação entre a intensidade da força elétrica e a distância entre a carga induzida no versório e a carga do corpo eletrizado.

Uma alternativa é magnetizarmos o versório, assim ele sentirá a presença da força magnética, que de maneira análoga exercerá um torque sobre ele. Na ausência

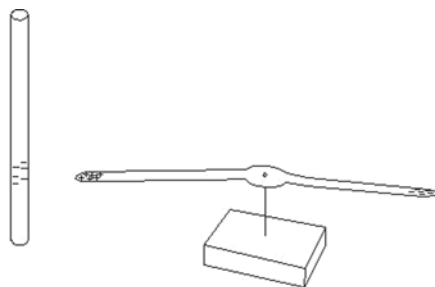


Figura 3: Corpo eletrizado próximo ao versório e induzindo uma redistribuição de cargas nele, fazendo com ele se alinhe com as linhas de força elétrica emitida pelo corpo.

de um corpo eletrizado nas proximidades do versório magnetizado, o mesmo se posicionará paralelamente às linhas de campo magnético da Terra, comportando-se como uma bússola.

Se colocarmos um corpo eletrizado nas proximidades de uma das extremidades do versório magnetizado, ele estará sob a ação de ambas as forças, portanto nem se alinhará na direção das linhas de campo de força elétrica nem paralelamente às linhas do campo magnético da Terra. Nesse caso o versório estará sob a ação da força resultante e sua orientação formará um ângulo Ω diferente de zero, com as linhas do campo magnético da Terra, e quanto mais próximo o corpo carregado ficar do versório, maior será esse ângulo (Fig. 4).

Podemos considerar constante o módulo da força magnética que atua sobre o versório magnetizado, assim quanto maior o ângulo que o versório faz com as linhas de campo magnético, maior será o módulo da força elétrica que atua sobre ele. Assim, se variarmos a distância entre o corpo eletrizado e o versório magnetizado, variamos também o módulo da força elétrica exercida entre eles, podendo então relacionar a força elétrica com a distância entre as cargas.

Montagem do aparato experimental

Para a realização desse experimento serão utilizados os seguintes itens:

- 1 borracha escolar;
- 2 alfinetes número 32;
- 1 colchete número 06;
- 1 folha de papel milimetrado;
- 1 folha de isopor 20 cm x 20 cm;
- 100 m de fio de cobre esmaltado de 0,5 mm de diâmetro;
- 1 carretel de plástico;
- 1 transformador 127 V alternado para 12 V contínuo;
- 1 fita crepe;
- 1 mangueira de polietileno de 8mm de diâmetro por 25 cm de comprimento;

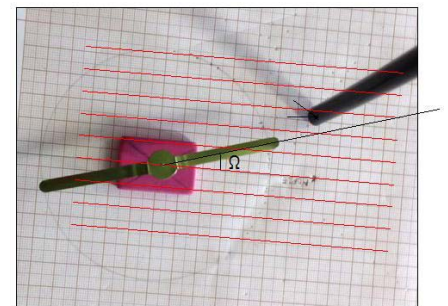


Figura 4: Ângulo Ω que o versório faz com as linhas de campo magnético terrestre (em vermelho), na presença de uma mangueira de polietileno eletrizada.

- 1 régua de 30 cm.

O versório

Primeiramente montamos a base, utilizando o alfinete e a borracha. É muito importante que o alfinete fique centralizado e perpendicular à superfície da borracha, conforme a Fig. 5B, para não mascarar as medidas diretas.

Para a montagem do membro horizontal do versório vamos utilizar o colchete nº 06, primeiramente desdobrando-o e depois, com o auxílio de um prego 12 × 12 e um martelo, fazendo uma saliência em seu centro, conforme a Fig. 5A.

Devemos ter cuidado para que o prego não fure o colchete, pois a saliência servirá de apoio giratório para a ponta do alfinete. Para que o versório fique estabilizado na horizontal, a saliência feita com o prego deve ficar o mais próximo possível do centro de massa do colchete. Para isso podemos fazer duas retas diametralmente opostas, conforme a Fig. 5A, para marcar o ponto onde a saliência deve ser feita. E para abaixar o centro de massa podemos dobrar o colchete na forma de um V invertido conforme a Fig. 5B, o que lhe dará mais estabilidade. Depois do versório montado, ele ficará conforme a Fig. 5B.

Depois de montado o versório, precisamos magnetizá-lo para que ele sinta a presença da força magnética gerada pelo campo magnético da Terra. Para tal tarefa podemos utilizar um ímã natural ou artificial ou um solenoide. Para este trabalho foi utilizado um solenoide para magnetizar o versório.

A construção do solenoide

Para a construção do solenoide vamos precisar de 100 m de fio de cobre esmaltado de 0,5 mm de diâmetro e um carretel de plástico. O fio de cobre esmaltado é aquele utilizado no rebobinamento de motores elétricos e o carretel é aquele em que vem a solda branca utilizada em circuitos eletrônicos. Ambos podem ser encontrados em oficinas de rebobinamento de motores.

A fim de se formar um solenoide, deve-se enrolar o fio de cobre no carretel e devem sobrar duas pontas de fio de mais ou menos 5 cm (Fig. 6); elas serão utilizadas para conectar o transformador de

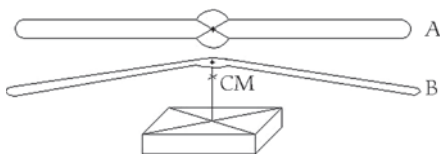


Figura 5: Em A, versório desdobrado com uma saliência no centro e em B, versório dobrado em forma de V invertido.

127 V alternado para 12 V contínuo.

Magnetização do versório

Para magnetizar o versório vamos utilizar o solenoide feito com o carretel, o fio de cobre e o transformador. Pegue o colchete que foi utilizado como membro horizontal do versório, e introduza uma de suas extremidades no orifício do solenoide, conforme vemos na Fig. 6; conecte o solenoide ao transformador na saída de 12 V contínuo e logo após ligue o transformador na tomada de 127 V. Espere uns 5 segundos e o versório estará magnetizado. Esse solenoide será muito útil para magnetizar chaves de fenda e philips que poderão serem usadas para segurar pequenos parafusos.

Depois de magnetizado, o versório se comportará como uma bússola, sendo que o polo norte da bússola será atraído pelo polo sul magnético da Terra e o polo sul da bússola será atraído pelo polo norte magnético da Terra. Assim, o versório se alinhará paralelamente às linhas de campo magnético da Terra.

Corpo eletrizado

Neste trabalho foi utilizado como corpo eletrizado uma mangueira de polietileno de 8 mm de diâmetro por 25 cm de comprimento, facilmente encontrada em lojas de material para irrigação, e fixamos um alfinete nº 32 utilizando cola quente na base da mangueira (Fig. 7). Esse alfinete na base da mangueira será útil para fixar a mangueira perpendicularmente ao plano que contém o papel milimetrado e a folha de isopor.

Base do aparato experimental

Para a base do aparato experimental foi utilizada uma folha de isopor de 20 cm × 20 cm e uma folha de papel milimetrado; para fixar o papel na folha de isopor, foi utilizado alfinete do tipo percevejo, encontrado facilmente em papelaria. É importante não utilizar cola para

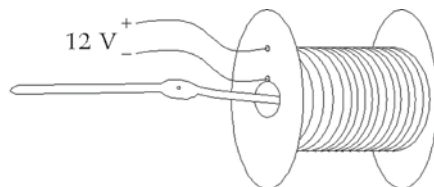


Figura 6: Versório sendo magnetizado pelo solenoide.



Figura 7: Mangueira de polietileno com um alfinete nº 32 fixado na base.

fixar o papel milimetrado no isopor para facilitar a troca do papel milimetrado, caso seja necessário repetir o experimento utilizando outra folha.

Preparação do aparato experimental

Primeiramente preparamos a base, fixando o papel milimetrado na folha de isopor; depois fizemos um furo com o alfinete da mangueira de polietileno no centro da base, coincidindo com uma das linhas do papel milimetrado. Isso será importante para alinharmos essa linha do papel milimetrado com as linhas de campo magnético da Terra, cuja direção será indicada pelo versório magnetizado. Depois, medimos o comprimento do colchete, que foi utilizado como membro horizontal do versório, partindo da saliência até uma de suas extremidades. Utilizando essa medida como raio, fizemos um círculo com o centro, coincidindo com o furo feito no centro da base: esse círculo será importante para marcarmos a posição que a extremidade do versório magnetizado apontará na presença da mangueira de polietileno eletrizada.

Para variar a distância da mangueira eletrizada da extremidade do versório, foram feitos alguns furos na base com espaçamento de 5 mm utilizando um alfinete, partindo da extremidade do versório até a borda da base (Fig. 8).

Para eletrização da mangueira de polietileno, foi utilizada uma folha de papel A4, mas podem-se usar diversos materiais como: flanela de algodão, pedaço de pano de seda, pano de lã etc. A natureza do material utilizado para eletrizar a mangueira pode influenciar na quantidade e no sinal da carga adquirida por ela. O sinal da carga, no entanto, não influencia na intensidade do torque que a força elétrica exerce sobre o versório, mas a quan-

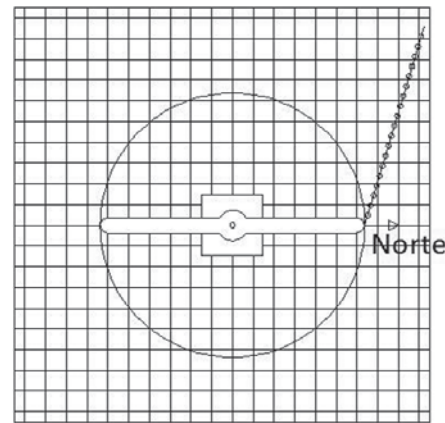


Figura 8: Base com furos espaçados de 5 em 5 mm, para a movimentação da mangueira eletrizada.

tidade de carga sim. É importante que a mangueira seja eletrizada em um ponto que fique na mesma altura do membro horizontal do versório, para que o mesmo fique estabilizado na horizontal (Fig. 3). Isso ocorre porque o polietileno é um material isolante, que não permite que as cargas elétricas se desloquem com facilidade, assim elas se manterão na mesma região em que foram ‘produzidas’ por atrito.

Procedimento experimental

Primeiramente, alinhamos as linhas do papel milimetrado da base com as linhas do campo magnético da Terra. Depois, a mangueira de polietileno foi atritada com uma folha de papel A4 até adquirir uma carga que, ao aproximar do versório magnetizado, exercesse um torque sobre ele, fazendo-o girar em seu próprio eixo na direção dela. Ao verificar que a mangueira atingiu um grau de eletrização satisfatório, alinhamos o versório novamente com a reta norte, representada na Fig. 8, e então aproximamos a mangueira eletrizada da extremidade do versório, utilizando os furos feitos na base, até que ele começasse a girar em torno de seu próprio eixo. Em seguida, com o auxílio de um lápis de madeira, marcamos a posição em que a extremidade do versório parou. Essa posição foi denominada B01 e o furo em que a mangueira eletrizada ficou foi nomeado de A01; depois, a mangueira foi para o próximo furo, denominado A02, e o versório girou mais um pouco em torno de seu próprio eixo. Essa nova posição da extremidade do versório foi denominada B02, e assim sucessivamente até a posição da mangueira A06 e

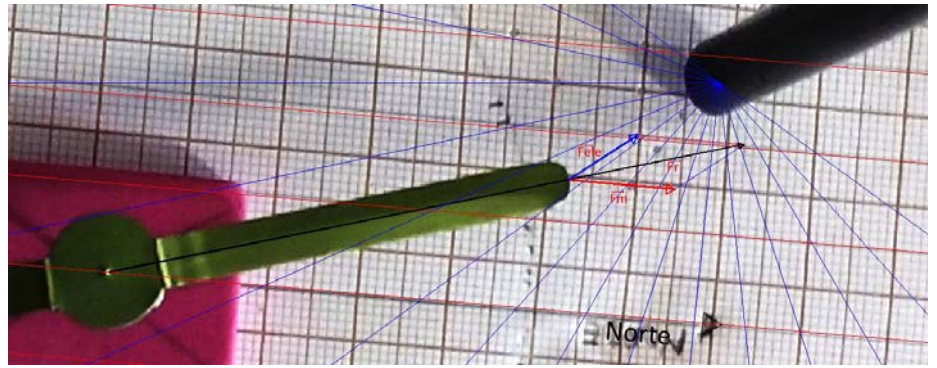


Figura 10: As linhas de campo magnético representadas em vermelho, as linhas de força elétrica representadas em azul, o vetor força magnética representado em vermelho, o vetor força elétrica representado em azul e o vetor força resultante representado em preto.

da extremidade do versório B06, conforme podemos ver na Fig. 9.

Utilizando uma régua, tomamos as medidas diretas de distância entre os pontos A01 e B01, A02 e B02, A03 e B03, A04 e B04, A05 e B05 e A06 e B06 da Fig. 9 e, de posse dessas medidas, foi preenchida a Tabela 1.

Sabemos que o campo magnético da Terra é mais forte nos polos e vai enfraquecendo à medida que se aproxima da linha do equador. Se circundarmos a Terra com uma linha imaginária perpendicular às linhas de campo magnético, teremos que o campo é constante ao longo dessa linha. Assim, considerando que as dimensões do experimento são desprezíveis em relação à variação do campo magnético, podemos considerar constante o módulo da força magnética F_m que atua na extremidade do versório magnetizado.

Desenhando um vetor F_m de módulo arbitrário nos pontos B01 a B02 (Fig. 11), vemos então que as forças que atuam na

extremidade do versório em cada ponto são as forças magnética F_m e elétrica F_{ele} . Assim, o versório vai apontar na direção da força resultante F_r , como podemos ver na (Fig. 10).

Assim, sabendo, que o vetor F_m é constante e que o versório aponta na direção da força resultante da soma das forças elétrica e magnética, desenhamos, utilizando a regra do paralelogramo, um vetor força elétrica F_{ele} nos pontos de B01 a B06, como podemos observar na Fig. 11.

Com o auxílio da Fig. 11 e utilizando uma régua, foram tiradas as medidas diretas do módulo do vetor da força elétrica, representada em vermelho na (Fig. 11), e de posse desses dados preenchemos a Tabela 1.

De posse dos dados da Tabela 1, construímos o gráfico da força elétrica F_m em função da distância. Para o esboço desse gráfico foi utilizado o programa Geogebra. Na janela de comando do programa escrevemos a função $F = \frac{1}{x^2}$, depois adicionamos uma constante de proporcionalidade à função, até a curva do gráfico se ajustar aos pontos coletados experimentalmente, como podemos ver a Fig. 12.

Análise dos dados

O principal objetivo deste trabalho foi investigar experimentalmente o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso, em função da distância entre elas. Isso foi demonstrado experimentalmente por Coulomb em 1785, utilizando

Tabela 1: Dados experimentais das medidas diretas da distância e do módulo da força.

Distância (mm)	F_{ele} (mm)
63,6	1,2
56,5	1,8
47,5	3,1
39,7	4,8
32,5	7,7
25,6	14,9

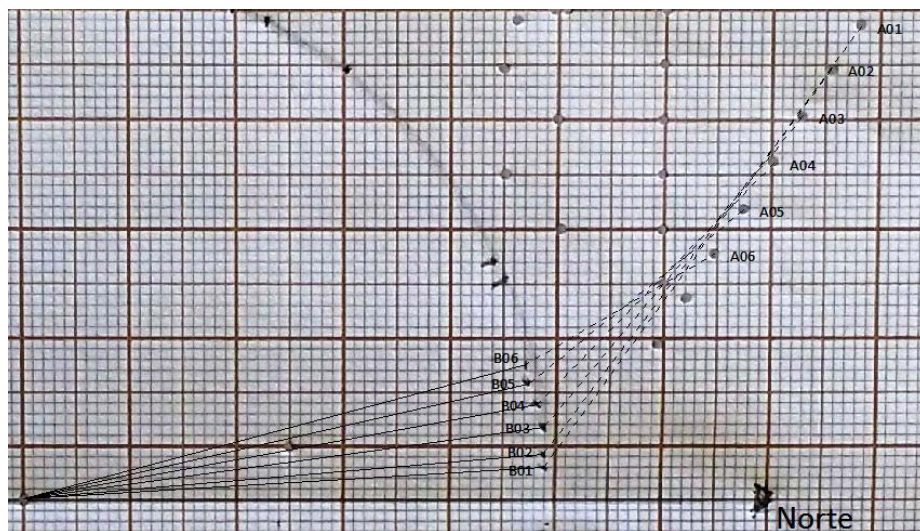


Figura 9: Marcação das posições da mangueira eletrizada em relação às posições da extremidade do versório, os pontos de A01 a A06 representam as posições da mangueira eletrizada; os pontos de B01 a B06, as posições em que a extremidade do versório parou, e as retas tracejadas, as distâncias entre eles.

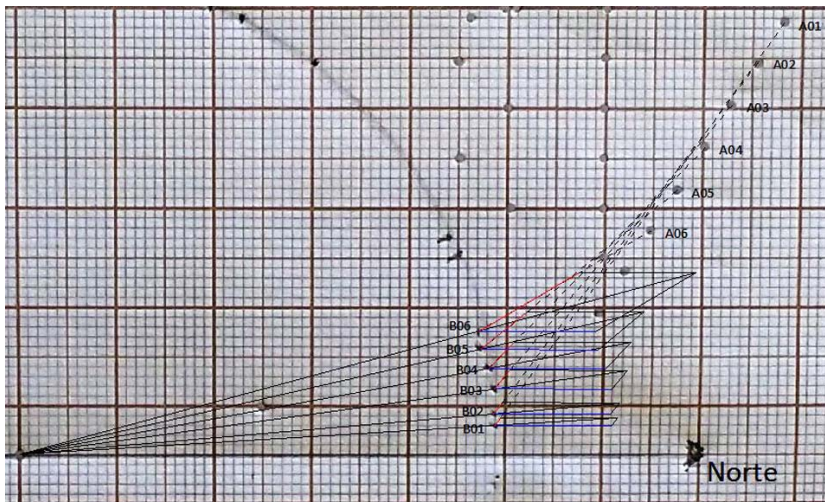


Figura 11: Vetor força magnética representada em azul, vetor força elétrica representado em vermelho e força resultante representado em preto apontando ao longo da direção do versório. As posições de A01 a A06 são as posições em que a mangueira eletrizada ficou posicionada; as posições de B01 a B06, as posições em que o versório ficou, e a linha pontilhada, as distâncias entre os pontos.

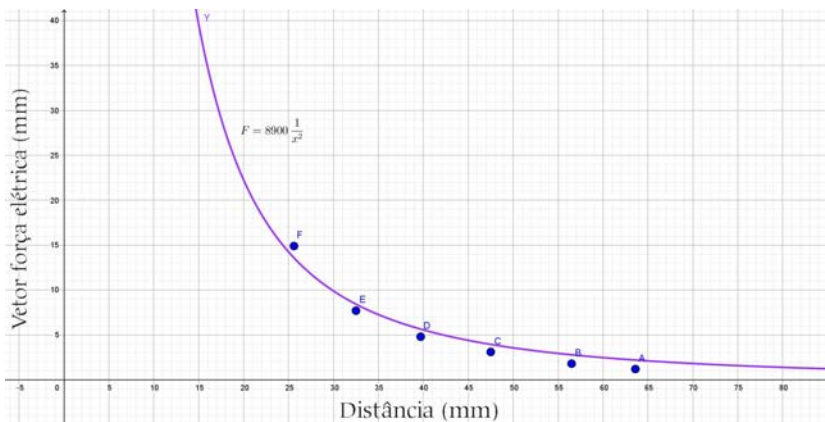


Figura 12: Gráfico da força elétrica em função da distância.

do um aparato experimental chamado de “balança de torção”. Assim, não houve preocupação em quantificar o módulo da força elétrica, mas só o comportamento dela quando se varia a distância entre as cargas. Não foi feita também a propagação de erro nas medidas diretas, já que o objetivo do trabalho não era quantificar.

De acordo com os dados experimentais obtido e a análise gráfica vetorial, foi observado o decaimento da força elétrica resultante entre a mangueira e a ponta do versório eletrizado, bem próxima do inverso do quadrado da distância. Esse comportamento aproximado com o inverso do quadrado da distância é razoável se levarmos em consideração que foi trabalhada a atração entre um isolante eletrizado e um condutor que tem cargas induzidas devido à presença do isolante eletrizado. Nesse caso, a quantidade de cargas que ficam na ponta do versório não

é constante. Assim, quanto mais próxima do versório está a mangueira de polietileno eletrizada, maior será a quantidade de cargas induzidas no versório, fazendo com que a força resultante entre a mangueira e a ponta do versório eletrizado não varie exatamente com o inverso do quadrado da distância. Na seção 7.10 do livro *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*, Assis [2] traz uma discussão sobre esse assunto.

Só foi possível investigar experimentalmente o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso com a distância entre elas utilizando um versório magnetizado porque a força magnética que atua na extremidade do membro horizontal permanece constante em módulo e direção, independentemente da posição da extremidade do membro horizontal do versório. Assim, a força magnética pode ser utilizada como força restauradora,

que, na ausência de outras forças, mantém o versório magnetizado apontando sempre na direção norte-sul. O vetor força magnética que atua na extremidade do versório é constante em módulo e direção. Sabendo que o versório aponta na direção da força resultante da soma das forças elétrica e magnética, foi possível desenhar um vetor força elétrica para cada ponto em que a extremidade do versório parou em função da aproximação da mangueira eletrizada, tornando possível a análise gráfica vetorial dos resultados.

Conclusão

Este trabalho baseou-se em um experimento histórico datado do século XVI e utilizou material de baixo custo. Esse procedimento pode ser muito proveitoso. A construção do aparato experimental nos permite trabalhar com conceitos físicos tais como: força elétrica, decomposição de forças, linhas de campo elétrico, eletrização por atrito, indução de cargas, força magnética, linhas de campo magnético da terra, magnetização, centro de massa, equilíbrio de um corpo rígido e torque. Também foram explorados conceitos matemáticos como; análise vetorial, lei do paralelogramo e análise gráfica de uma função.

Esperamos que esse trabalho possa ser utilizado por professores do ensino médio e superior, a fim de fornecer uma ferramenta que torne o ensino de física mais atraente para os alunos. Também poderá ser usado de forma interdisciplinar, pois são abordados conceitos físicos, matemáticos e de artes na construção dos equipamentos. É muito importante que o professor, ao sugerir a realização desse trabalho, enfatize que cada aluno construa seu próprio aparato experimental, já que o custo para construí-lo é muito baixo e o material é de fácil aquisição. Além disso, o processo de construção desse aparato experimental já será um aprendizado enorme para eles. Assim, cada aluno poderá levar esse material para casa e realizar os experimentos para familiares e amigos, tornando possível que cada um deles seja um disseminador da ciência.

Referências

- [1] M.C. Batista, P.A. Fusinato and R.B. Blini, *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* **31**, 43 (2009).
- [2] A.K.T. Assis, *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade* (Livraria da Física, São Paulo, 2011), 266 p.
- [3] A. Chaves, *Física Básica: Eletromagnetismo* (LTC, Rio de Janeiro, 2007).
- [4] A.J. de J. Santos, M.R. Voelzke e M.S.T. de Araújo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **29**, 1137 (2012).

Material pedagógico inclusivo: Trabalhando com maquetes tátil-visuais do modelo geocêntrico e do heliocêntrico



Samara da Silva Morett Azevedo

Professora de Física, Secretária de Estado de Educação do Rio de Janeiro, Itaocara, RJ, Brasil
E-mail: samorett@yahoo.com.br

Delson Ubiratan da Silva Schramm

Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Ciências Físicas, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil
E-mail: duschramm@gmail.com

Marcelo de Oliveira Souza

Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Ciências Físicas, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil
E-mail: Marcelo@marcelosouza.pro.br

Com o processo de inclusão do aluno com deficiência visual nas redes comuns de ensino, novas alternativas têm que surgir para que esse aluno não tenha direito apenas à matrícula, mas participe ativamente do processo de ensino-aprendizagem. O ensino de física tem que perder a vertente puramente visual para contemplar todos os alunos da sala de aula. Diante desse contexto, este trabalho apresenta um método pedagógico inclusivo para ser utilizado nas aulas de física, abordando os conceitos relacionados ao geocentrismo e ao heliocentrismo, conteúdo do 1º bimestre das turmas do 1º ano do Ensino Médio no Estado do Rio de Janeiro. O material elaborado constitui-se de duas maquetes tátil-visuais construídas com material de baixo custo. A utilização desse material apresentou um resultado satisfatório, pois beneficiou o processo de ensino-aprendizagem dos alunos com e sem deficiência visual, tornando o conteúdo abordado mais concreto, mais próximo da realidade.

Introdução

A Constituição Federal, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (1996) e o Estatuto da Criança e do Adolescente são alguns dos documentos que asseguram o direito à inclusão e ao pleno desenvolvimento do aluno com deficiência nas redes regulares de ensino. Essa inclusão garante direito à matrícula em todas as modalidades de ensino - Educação Básica (Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio) e Superior. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB/96), em seu segundo artigo, define a finalidade da educação:

A educação, dever da família e do Estado, inspirada nos princípios de liberdade e nos ideais de solidariedade humana, tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho. [1]

Nesse fragmento é exposta a necessidade do “pleno desenvolvimento do educando”, ou seja, tem que existir métodos e materiais que auxiliem o desenvolvimento de todos os alunos de forma integral, para que nenhum fique excluído do processo de ensino-aprendizagem. Assim, todos, com ou sem deficiência, serão contemplados.

A inclusão escolar impõe uma escola em que todos os alunos estão inseridos sem quaisquer condições pelas quais possam ser limitados em seu direito de participar ativamente do processo escolar, segundo suas capacidades, e sem que nenhuma delas possa ser motivo para uma diferenciação que os exclua das suas turmas. [2]

Para que ocorra a inclusão do aluno com deficiência visual nas escolas regulares, estas têm que oferecer recursos pedagógicos, acessibilidade e professores capacitados para atender às diferenças de modo que haja uma integração entre os deficientes visuais, os não deficientes e os professores - uma verdadeira inclusão, um trabalho bem feito para que nenhum aluno se sinta excluído.

Para que o ensino de física aconteça de maneira plena, as aulas precisam atender às necessidades dos alunos com e sem deficiência visual, disponibilizando métodos pedagógicos e técnicas destinados a eles que desenvolvam suas potencialidades, ajudando-os a conhecer e compreender o conteúdo abordado de forma significativa.

Os métodos pedagógicos são ferramentas auxiliares aos professores, eles servem para ajudar no processo de ensino aprendizagem propiciando ao aluno melhor visualização dos conceitos abordados nas salas de aula. Através destes criam-se discussões, aumentando o diálogo professor-aluno, abrindo as portas para questionamentos e reflexões [3].

Metodologias pedagógicas intensificam o trabalho do professor, fornecendo subsídios para a aprendizagem. Esta precisa representar a construção de conceitos relevantes ao sujeito. A utilização de materiais pedagógicos faz com que o aluno interaja com a aula e com os demais alunos, desenvolvendo a natureza reflexiva e participativa de cada um.

A escola tem que adequar currículos, metodologias, técnicas, recursos e organização para que todos os alunos tenham uma aprendizagem prazerosa e para que os alunos com deficiência visual sejam incluídos no processo de ensino-aprendi-

zagem de maneira atuante.

Dessa forma, foi realizado este projeto, desenvolvendo um material pedagógico inclusivo, abordando os conceitos do geocentrismo e do heliocentrismo, que atendessem às necessidades de alunos com e sem deficiência visual. O projeto foi realizado em um colégio da rede pública de ensino no município de Itaocara-RJ.

Desenvolvimento do material pedagógico inclusivo

O material pedagógico inclusivo consiste em duas maquetes tátil-visuais que abordam os modelos geocêntrico e heliocêntrico. Esses conteúdos são trabalhados na disciplina de Física no 1º ano do Ensino Médio, de acordo com o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro.

Esse currículo apresenta as competências e habilidades que devem ser abordadas em cada período de estudo. Ele foi desenvolvido pela Secretaria de Estado e Educação do Rio de Janeiro em 2012:

O Currículo Mínimo serve como referência a todas as nossas escolas, apresentando as competências e habilidades básicas que devem estar contidas nos planos de curso e nas aulas. Sua finalidade é orientar, de forma clara e objetiva, os itens que não podem faltar no processo de ensino-aprendizagem, em cada disciplina, ano de escolaridade e bimestre. Está disponível material para consulta das 12 disciplinas da Base Nacional Comum. [4]

As maquetes foram construídas com material de baixo custo, com legendas em tinta e em braile. Os astros (estrela, satélite e planetas), as órbitas e a base das maquetes são apresentados em diferentes texturas e cores contrastantes (para que contemplem o aluno com baixa visão). Esses cuidados são necessários para que outros sentidos dos educandos sejam estimulados.

O modelo geocêntrico foi descrito pelo astrônomo Claudio Ptolomeu, que supunha que os planetas giravam ao redor da Terra. Já o modelo heliocêntrico foi descrito pelo astrônomo Nicolau Copérnico, que se contrapunha ao modelo anterior e afirmava que o Sol estava em repouso e a Terra e os demais planetas giravam ao redor dele [5].

As maquetes tátil-visuais estão representadas nas Figs. 1 e 2.

As maquetes foram construídas sobre uma base de madeira. Essa base foi coberta

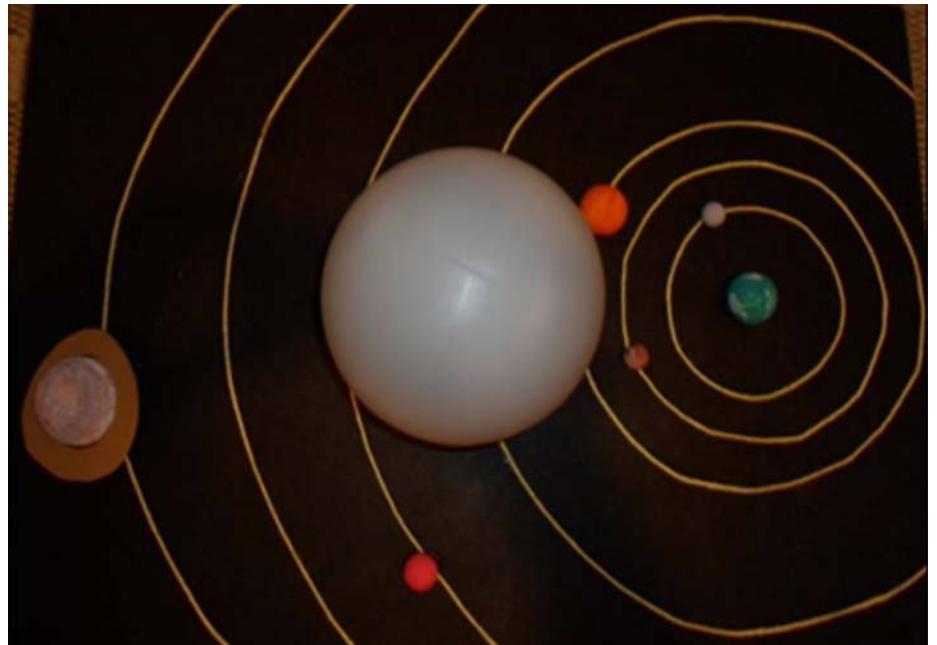


Figura 1: Maquete tátil-visual de representação do modelo geocêntrico.

por um tecido preto, para que aumentasse o contraste entre as demais cores. As órbitas foram representadas por barbante, para criar um alto-relevo. Para que o barbante ficasse mais firme, foi coberto com cola branca e trançado e, para melhorar sua visualização, foi tingido de amarelo.

Os planetas foram representados por bolas de isopor. Todos os astros representados possuem seus nomes em braile e tinta. Na Fig. 3 tem-se a demonstração das particularidades das maquetes.

O Sol foi representado por um globo sobre uma lâmpada. Nas maquetes existe

uma instalação elétrica que possibilita acender a lâmpada e também considerar a sensação térmica. Na Fig. 4 encontra-se a representação das maquetes com a lâmpada acesa.

Apresentação das maquetes tátil-visuais

As maquetes tátil-visuais foram apresentadas a uma aluna com deficiência visual e a uma turma do 1º ano do Ensino Médio sem deficiência visual.

Na Fig. 5, vê-se o momento em que a professora-pesquisadora apresentou as



Figura 2: Maquete tátil-visual de representação do modelo heliocêntrico.



Figura 3: Detalhes das maquetes tátil-visuais: fundo preto, linhas em alto relevo, escrita em tinta e em braille.

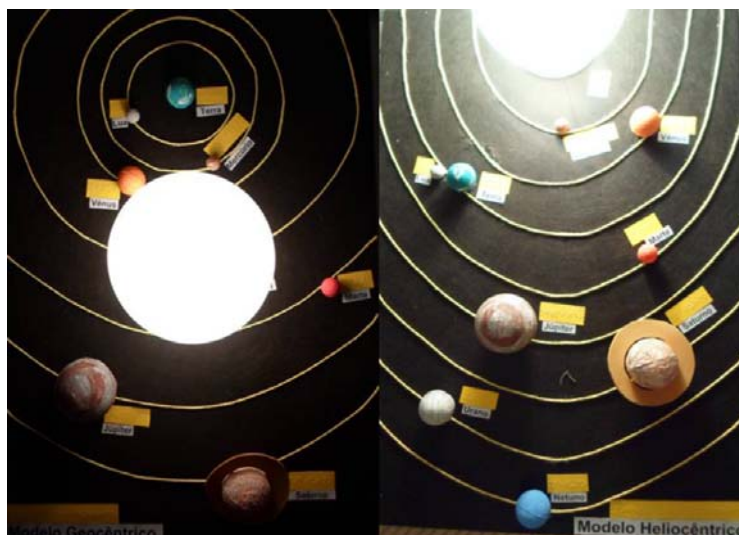


Figura 4: Maquetes tátil-visuais de representação dos modelos geocêntrico e heliocêntrico com as lâmpadas, que indicam o Sol, acesas.

maquetes sobre os modelos geocêntrico e o heliocêntrico.

As maquetes despertaram muito interesse tanto da aluna com deficiência visual quanto dos demais alunos envolvidos

na pesquisa. O aluno com deficiência visual declarou que as aulas conduzidas dessa maneira ajudam a melhorar a compreensão do conteúdo abordado, facilitando seu aprendizado. E sugeriu que



Figura 5: Apresentação das maquetes tátil-visuais dos modelos geocêntrico e heliocêntrico para a aluna com deficiência visual.

todas as aulas tivessem essa abordagem.

Os educandos ficaram mais atentos, pois as maquetes deixaram o conteúdo mais concreto, mais próximo da realidade, e retiraram das aulas o caráter puramente visual. Os alunos sem deficiência visual ficaram fascinados com a maneira como a aluna com deficiência visual conseguiu acompanhar e compreender o conteúdo que estava sendo abordado. Eles diziam que a aluna com deficiência conseguiu “ver” as maquetes.

Conclusão

As dificuldades que um aluno com deficiência visual possui, relacionadas ao ensino de física, podem ser sanadas ou pelo menos abrandadas com a utilização das maquetes tátil-visuais.

Com a utilização desse tipo de material, a aluna com deficiência visual sentiu-se incluída na aula, consegue interagir com a professora e os demais alunos e acompanha com mais facilidade o conteúdo proposto.

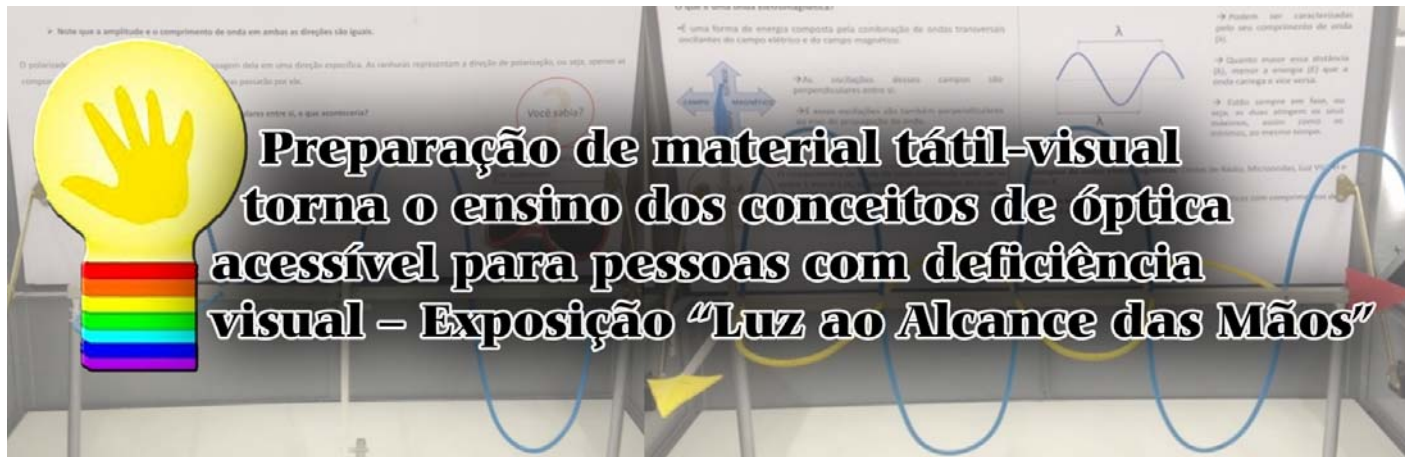
As maquetes modificaram o andamento das aulas, melhorando o entrosamento de todos, na medida em que afastou a vertente puramente visual, envolvendo outros sentidos dos educandos.

O material pedagógico aqui citado é de natureza inclusiva, auxilia o ensino do aluno sem e com deficiência visual. Ele complementa a aula, motivando e ajudando na compreensão dos conceitos estabelecidos.

Portanto, as maquetes tátil-visuais dos modelos geocêntrico e heliocêntrico demonstram os conceitos da física introduzindo outros sentidos dos alunos, construindo explicações concretas dos fenômenos envolvidos e retirando os aparatos puramente visuais.

Referências

- [1] Brasil, Ministério da Educação, *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, 9394/96 (MEC/SEMTEC, Brasília, 1996).
- [2] E.A. Ropoli, in: *A Educação Especial na Perspectiva da Inclusão Escolar: A Escola Comum Inclusiva*, editado por Edilene Aparecida Ropoli e cols. (Ministério da Educação, Brasília, 2010).
- [3] S.S. Morett-Azevedo, M.C.R. Pessanha, D.U.S. Schramm e M.O. Souza, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **35**, 2403 (2013).
- [4] SEEDUC, *Currículo Mínimo 2012 – Física* (Secretaria Estadual de Educação do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012)
- [5] B. Alvarenga e A. Máximo, *Física - Contexto e Aplicações, Volume 1* (Ed. Scipione, São Paulo, 2014), p. 175-176.



Preparação de material tátil-visual torna o ensino dos conceitos de óptica acessível para pessoas com deficiência visual – Exposição “Luz ao Alcance das Mãos”

H.H. Buzza^{1,4*}, C.P. Campos^{1,4}, M.B. Requena^{1,4}, C.T. Andrade^{1,4,5}, I.S. Leite^{1,4}, T.C. Fortunato^{1,4}, M.D. Stringasci^{1,4}, M.C. Geralde^{2,4}, C.M. Faria^{1,4}, T.Q. Correa^{2,4}, R.A. Romano^{1,4}, R.G.T. Rosa^{1,4}, B. Ono^{1,4}, B.P. Oliveira^{1,4}, E.P. Camargo³, C. Kurachi^{1,4}

¹Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil

²Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

³Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, SP, Brasil

⁴SPIE Student Chapter, USP-SC SPIE Student Chapter, São Carlos, Brasil.

⁵Instituto Federal de Alagoas, Piranhas, AL, Brasil

*E-mail: hilde.buzza@usp.br

Introdução

Estima-se que, nos dias atuais, 285 milhões de pessoas possuam deficiência visual no mundo, dentre as quais 39 milhões sejam cegas e 246 milhões tenham baixa visão. Desse total, aproximadamente 90% vive em países em desenvolvimento [1]. No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística há aproximadamente 6 milhões de pessoas que se enquadram na classificação de pessoa com baixa visão e 500 mil pessoas cegas [2]. O restante das pessoas que possuem algum problema visual que pode ser corrigido com instrumentos ópticos e que totalizam, segundo os dados do IBGE, em torno de 29,2 milhões de indivíduos, não podem ser enquadrados legalmente como pessoas com deficiência visual, de acordo com a classificação do decreto 5.296 de 2004. Inúmeros obstáculos são enfrentados pela pessoa com deficiência visual em seu processo de inclusão na sociedade, o que significa que um número elevado de pessoas encontra maiores dificuldades no acesso à informação, à educação, à cultura e ao mercado de trabalho.

De acordo com a lei número 13.146 de 6 de julho de 2015, capítulo IV, “a educação constitui direito da pessoa com deficiência, assegurando um sistema educacional inclusivo em todos os níveis e aprendizado ao longo de toda a vida”. Além disso, a lei diz que “é um dever do Estado, da família, da comunidade escolar e da sociedade assegurar educação de qualidade à pessoa com deficiência”. Fávero defende que esse direito deve ser exercido sem discriminações, inserindo as pessoas com deficiência

no mesmo espaço que os demais alunos e oferecendo um cuidado complementar, mas nunca impedindo o acesso ao ambiente de ensino comum [3]. Dessa forma, é de fundamental importância focar em elementos de aprendizagem que contribuam para a construção desse ambiente.

Em aulas de física, a comunicação feita pelos professores geralmente se fundamenta em linguagem audiovisual interdependente combinada com padrão discursivo retórico [4]. Essa metodologia resume-se a aulas expositivas, em que a visualização é de extrema importância para a compreensão do assunto em questão. Portanto, uma das limitações desse processo é a dificuldade de inclusão de alunos com algum tipo de deficiência, seja ela visual ou não.

Uma área da física cujo ensino para pessoas com deficiência visual é particularmente desafiador é a óptica. Essa frente estuda a luz e fenômenos associados a ela e, portanto, a luz é o primeiro elemento a ser compreendido no aprendizado. Por ser um elemento que está visualmente presente no dia a dia, para o vidente, a luz é intuitiva e rapidamente entendida, enquanto que, para o cego, se torna um conceito abstrato. As ideias de cor, transparência e opacidade, por exemplo, são transmitidas subjetivamente aos cegos de

nascimento, porque encontram-se estruturadas em experiências empíricas que eles nunca tiveram. Já as ideias interpretativas acerca da natureza da luz (onda e partícula) e que possuem basicamente caráter geométrico

são de natureza vinculada, um conceito que pode ser relacionado às características concretas. Por esse motivo, podem ser representadas por meio de registros táteis e

No Brasil há 6 milhões de pessoas com baixa visão e 500 mil pessoas cegas; elas enfrentam inúmeros obstáculos em seu processo de inclusão na sociedade como acesso à informação, à educação, à cultura e ao mercado de trabalho

Apesar ser previsto por lei, o acesso a uma educação de qualidade à pessoa com deficiência ainda encontra grandes obstáculos, especialmente no ensino de física, onde predomina o caráter expositivo das aulas e forte dependência com elementos gráficos. O desenvolvimento de abordagens alternativas que facilitem a aprendizagem de conceitos físicos para pessoas com deficiência visual, assim como para videntes, foi o objetivo desse trabalho. Foram construídos 27 painéis, que constituíram a exposição “Luz ao alcance das mãos”, com recursos tátil-visuais e auditivos para explicar conceitos e fenômenos de óptica, além de demonstrar para professores a possibilidade de desenvolver um material completo e inclusivo para o ensino de física. Abordando tópicos desde óptica geométrica até ondas eletromagnéticas e dualidade onda-partícula, em cada um dos painéis foram implementados textos explicativos em sua forma gráfica, em braille e na forma de áudio-descrição, adaptados para conter a localização dos elementos táteis nos painéis.

visuais e serem plenamente comunicadas tanto às pessoas cegas como às videntes. Já o conceito da luz como uma forma de energia não apresenta relação sensorial, pois, na física, energia é um conceito abstrato. Para o caso dos significados relacionados à energia, Gaspar argumenta que: “os físicos sabem muito sobre energia, conhecem inúmeras formas de energia e expressões matemáticas para calcular o seu valor. Sabem que é algo indestrutível na natureza, cujo valor total num determinado fenômeno é sempre o mesmo. Mas não sabem o que é energia.” [4-5]. Por isso, entender a luz sob essa perspectiva coloca cegos e videntes num patamar igualitário.

Dessa forma, fica claro que há a necessidade de que um professor de física seja apto a conduzir atividades de ensino que incluam tanto as especificidades dos alunos videntes quanto as dos alunos com deficiência visual. Uma forma de se atingir essa meta é fornecendo ao educador ferramentas que facilitem tanto o ensino quanto o aprendizado. No ensino de óptica, a experimentação é uma das principais barreiras no aprendizado de alunos com deficiências visuais, por isso torna-se cada vez mais importante a criação e a exploração de métodos que permitam a inclusão desses alunos [6]. A introdução de materiais didáticos em ambientes não-formais de educação pode ser o primeiro passo para despertar o interesse dos estudantes e mostrar um caminho de ensino para professores que possuem na sala de aula alunos com algum grau de deficiência visual.

Em geral, a principal ferramenta de ensino usada no cotidiano é o material impresso e, para o acesso de pessoas com deficiência visual, há a impressão em braile. Entretanto, a alfabetização em braile é considerada mais comum e eficaz para pessoas que nasceram com deficiência visual ou tiveram problemas na visão ainda na infância. Torna-se uma tarefa mais complicada e menos comum introduzir o braile para pessoas que já foram alfabetizadas com o sistema de linguagem em tinta. Além disso, não é toda a população com deficiência que tem acesso a esse aprendizado. De acordo com uma estimativa da Fundação Dorina Nowill para Cegos, apenas 10% dos deficientes visuais são alfabetizados em braile no Brasil. Dentre eles, muitos não

A alfabetização em braile é considerada mais comum e eficaz para pessoas que nasceram com deficiência visual ou tiveram problemas na visão ainda na infância. Torna-se uma tarefa mais complicada e menos comum introduzir o braile para pessoas que já foram alfabetizadas com o sistema de linguagem em tinta

o utilizam por dificuldade de desenvolver a habilidade tátil ou por perder parte dessa habilidade [6,7].

Nas últimas décadas, o surgimento de recursos tecnológicos vem proporcionando avanços valiosos no processo ensino-aprendizagem [8]. O acesso a textos digitais a partir de *software* de leitura de tela ou mesmo *software* ampliador de imagens, no caso de pessoas com baixa visão, tem contribuído para o aprendizado (6). Dessa forma, pode-se afirmar

que o acesso, principalmente de crianças cegas que não foram alfabetizadas em braile, tem sido facilitado. No entanto, em física e particularmente em óptica, o conteúdo gráfico é abundante e essencial para o aluno. Azevedo e colaboradores desenvolveram metodologias

para facilitar o ensino de alguns conceitos de óptica, demonstrando fenômenos como propagação da luz por meio de modelos conceituais [9-10].

É válido e importante ressaltar que, de acordo com Vygotsky, a audição e o tato não realizam, em termos de percepção da realidade física, as funções do olho e, portanto, não há a substituição da visão. O que acontece é que o cego realiza uma relação dialética com a dificuldade do mundo dos videntes, que é o seu ambiente não natural. Isso significa que não há uma compensação biológica dos sentidos, mas uma compensação social para a compreensão do mundo [11].

Baseado no que foi exposto, este artigo mostra o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar educadores com o intuito de incluir pessoas com deficiência visual no ensino de diversos fenômenos e conceitos de óptica, com base em trabalhos já existentes e consolidados [4,12-13]. Com esse propósito, foram desenvolvidas maquetes e painéis abordando diversos assuntos da física, todos com o recurso tátil-visual. O objetivo foi desenvolver materiais que facilitem o ensino e a aprendizagem de óptica por meio de uma exposição interativa, mostrando aos educadores que é possível ensinar sobre os conceitos de luz utilizando materiais simples e incluindo pessoas com deficiência visual.

Há a necessidade de que um professor de física seja apto a conduzir atividades de ensino que incluam tanto as especificidades dos alunos videntes quanto as dos alunos com deficiência visual

Métodos e Resultado

Painéis tátil-visuais

Os painéis foram construídos visando uma exposição em ambientes como museus e feiras de ciências e, por isso, precisavam de uma estrutura autossuficiente, isto é, que o próprio painel incluísse uma mesa com a descrição em braile e que fosse estável o suficiente para que as pessoas pudessem tocá-lo. Além disso, para o transporte de um ambiente a outro, era preciso que toda a estrutura fosse robusta e prática para os deslocamentos.

Para tanto, foram projetadas caixas basculantes que podiam ser transportadas (quando fechadas) e que podiam ter acoplados os “pés da mesa” (abertas). As dimensões da caixa fechada foram 1024 mm x 600 mm x 200 mm.

Foram projetados dois tipos de painéis: o primeiro do tipo vertical e posicionado na frente da caixa, como mostrado no esquema da Fig. 1A, de tal modo que permanecesse apoiado na tampa, permitindo a estabilidade do toque, enquanto o segundo era do tipo maquete, em que a descrição textual estava ao fundo do painel e a parte tátil à frente, como mostrado na Fig. 1B. Todos continham uma parte acoplada com a descrição em braile, fixada na própria tampa frontal da caixa, indicada na seta da Fig. 1A, que continha dobradiças com travas para evitar que, quando manipulados durante a experiência tátil, os painéis se fechassem. Ainda visando a autossuficiência, para que a caixa se transformasse em uma mesa, quando aberta, quatro pés de alumínio foram acoplados em cada extremidade do retângulo (Fig. 1C), sendo um dos pés regulável em altura para garantir a estabilidade da caixa. O pé com ajuste de nível é mostrado na Fig. 1D.

A escolha do material para a fabricação das caixas foi realizada considerando o peso e o tamanho e, principalmente, a funcionalidade do painel e o melhor custo-benefício. O material escolhido foi o plástico obtido por termoformagem (*vacuum forming*), uma vez que esse é um material leve e durável. O painel levando o conteúdo tátil-visual a ser

fixado dentro da caixa, entretanto, foi feito com madeira de 1 cm de espessura, com dimensões de 100 cm x 58 cm, garantindo a estabilidade do painel quando tocado pelos participantes. A montagem das caixas foi realizada na oficina mecânica do Grupo de Óptica do Instituto de Física

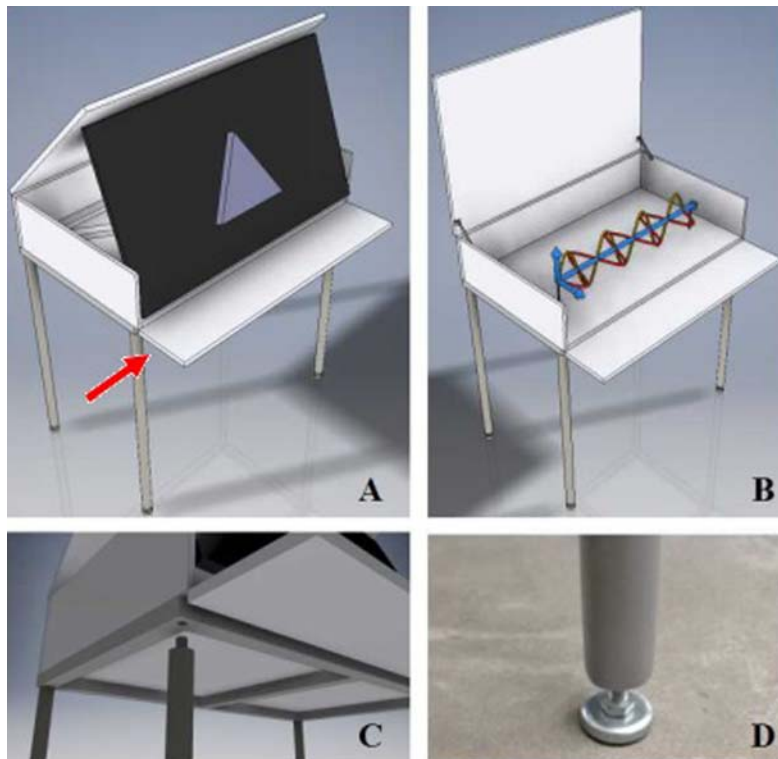


Figura 1: Esquema de montagem de dois tipos de painéis tátil-visuals, vertical (A) e maquete (B); a seta indica o local da leitura em braille. Detalhes dos pés de sustentação da caixa do painel em forma de mesa (C) e do pé ajustável para regulação de nível (D). Fonte: Elaborada pelos autores.

de São Carlos.

Como a exposição tinha o intuito não só de ser acessível às pessoas com deficiência visual, mas também de atingir pessoas videntes, em cada painel foi projetado um fundo textual com as informações didáticas. Para isso, essas informações foram impressas em um adesivo que foi, então, colado sobre a madeira. Os elementos táteis foram fixados sobre esse adesivo, sincronizando a localização do texto com os elementos táteis.

O material cuja descrição em braille foi realizada também foi importante, já que era preciso limpá-lo sem que perdesse as

propriedades para leitura. Desse modo, a descrição em braille foi feita em plástico de transparência. A Fig. 2 mostra um painel do tipo maquete (Fig. 2A) e sendo tocado por um visitante da exposição (Fig. 2B). Nela, é possível notar a explicação conceitual textual impressa ao fundo, enquanto os elementos táteis estão na frente do painel, estando a escrita em braille perpendicular ao observador.

Audiodescrição dos painéis

A não alfabetização em braille de pessoas com algum tipo de deficiência visual mostrou a necessidade de os painéis con-

terem, além da descrição escrita para videntes e não videntes, a audiodescrição, indicando tanto o conteúdo didático como a localização de cada elemento tátil.

Os áudios foram colocados em um *tablet* que permaneceu disponível durante a exposição nos museus. Assim, o áudio de cada painel podia ser selecionado no *tablet* por algum ajudante e a reprodução era feita no fone de ouvido para os visitantes que possuíam algum tipo de deficiência visual. Para deixar a audiodescrição completa, foi incluído um primeiro áudio explicando as dimensões das caixas, seu formato e os dois tipos de painéis, além de sua disposição no espaço do museu, para que eles pudessem seguir com a ideia da exposição já explicitada.

Convenções e materiais utilizados

Para facilitar a visita e o aprendizado das pessoas cegas, foi preciso estabelecer convenções e cuidados a serem adotados em todos os painéis. Cada tema abordado ocupava o espaço de, no máximo, 50 cm de largura, permitindo que, com as duas mãos, ela tivesse acesso ao conteúdo completo daquele quadrante específico. Os temas foram sempre dispostos nos quadrantes da esquerda para a direita e de cima para baixo. Além disso, os elementos que representavam o mesmo conceito, objeto ou ideia eram representados pelo mesmo material, em painéis diferentes. Por exemplo, os raios provenientes de objetos reais foram representados por um fio liso e arredondado, enquanto os raios provenientes de objetos imaginários foram representados por um fio duplo e achatado, padrão seguido em todas as representações.

A prioridade foi sempre a escolha de materiais de fácil acesso e baixo custo, como barbantes, fios e arames. Nos casos em que foram necessários materiais mais elaborados, foram escolhidos sempre aqueles de fácil acesso, como pedaços de metal ou acrílico.

Painéis

Com o objetivo de ensinar como a pessoa com deficiência visual poderia melhor aproveitar a exposição, e também convidar videntes para que fechassem os olhos e tatessem os painéis, foram posicionados dois painéis introdutórios explicativos, onde a exposição tinha início. O primeiro, com o nome "Luz ao Alcance das Mãos" escrito em braille e em letras impressas, apresentava o nome e um segundo possuía a explicação da exposição e demonstrava a presença da descrição em braille em todas as caixas

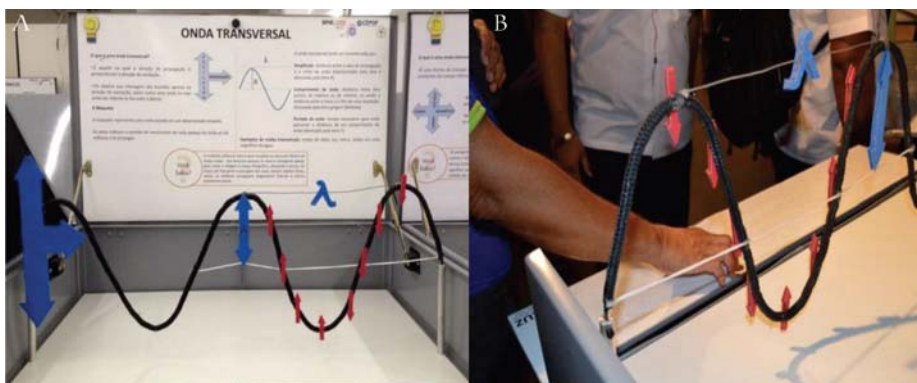


Figura 2: A imagem da esquerda (A) representa o painel autoexplicativo da onda transversal e a imagem à direita (B) mostra a localização da escrita em braille sendo tocada por um visitante da exposição. Fonte: Elaborada pelos autores.

O início de cada painel foi marcado pelo símbolo do projeto impresso em madeira do tipo MDF e com características tridimensionais. Sempre colocado exatamente na mesma posição, ele indicava o início de um novo tema. Essas convenções foram explicadas na descrição em braille e na audiodescrição dos painéis. O símbolo da exposição impresso em madeira está mostrado na Fig. 3a e um aluno identificando o símbolo, na Fig. 3B.

De modo a dar um caráter investigativo ao aprendizado, em cada painel também foi introduzida uma curiosidade relacionando os fenômenos presentes no dia-a-dia e o conceito físico abordado. Essas informações foram colocadas em quadros intitulados “você sabia” e localizadas sempre ao final do painel (e, portanto, no final da descrição em braille e da audiodescrição). Essa motivação adicional trazia elementos presentes na vida das pessoas com ou sem deficiência visual, motivando ainda mais a interação com os painéis e com o aprendizado.

Também foi necessário planejar a ordem dos painéis na exposição. Cada conceito novo apenas deveria ser apresentado quando um conceito prévio, requisito para entendimento daquele, já tivesse sido mostrado. Os temas abordados pela exposição completa e os painéis referentes a cada tema estão sumarizados, em ordem, na Tabela 1.

Para explicar os aspectos corpusculares e ondulatórios da luz, foi necessário introduzir o conceito das ondas longitudinais e transversais. A onda longitudinal é uma onda mecânica cuja direção de deslocamento (vibração) no meio é paralela à direção de propagação da onda (trajetória). Para a elaboração do painel da onda longitudinal (Fig. 4A), além de cordas, arames, molas de plástico e espuma vinílica acetinada (EVA) foi colocado um motor, mostrado no último quadrante do painel, que produzia um pulso de onda perceptível quando tocado. A representação estática foi feita em uma mola sem motor, na qual era possível sentir uma região de contração, que é chamada de pulso e vibra na direção horizontal. Outra mola representava um instante de tempo posterior à mola 1. O pulso se propagou para a direita e estava, portanto, mais à frente, próximo ao centro da mola, mostrando que a propagação é paralela ao deslocamento.

A onda transversal é aquela na qual a direção de propagação é perpendicular à direção de oscilação. Os objetos que interagem com essa onda são movidos apenas na direção de oscilação e a maquete representou uma onda parada em um



Figura 3: Imagens mostrando o símbolo da exposição impresso em madeira e em alto-relevo. Fonte: Elaborada pelos autores.

determinado instante. Ela foi feita com uma corda de 1,5 cm de diâmetro com um arame passado pelo seu interior, para adquirir o formato rígido de onda. Setas de EVA e arames foram fixados para mostrar as definições de comprimento de onda e amplitude. Esse painel é mostrado na Fig. 4B.

Por meio da comparação dos painéis dos tipos de onda foi possível, então, introduzir o conceito de onda eletromagnética para a luz. Para isso, foi montado um painel para mostrar que a luz é um

tipo de onda transversal formada por um campo elétrico e um campo magnético, perpendiculares entre si. Para representar as diferenças entre os campos elétrico e magnético da onda, os painéis contaram com diferentes cores (para os videntes) e diferentes texturas das ondas em cada um dos eixos, representando o campo elétrico e o campo magnético (Fig. 5A). É importante notar que, quando exploramos o espectro eletromagnético, é possível usar a ausência de visão como um fator positivo na abordagem dos comprimentos de onda

Tabela 1: Temas abordados pela exposição completa e os painéis produzidos e seus respectivos temas em ordem.

Abertura	Painel de abertura
Tipos de onda	Explicação da exposição
	Onda longitudinal Onda transversal
Ondas eletromagnéticas	Ondas eletromagnéticas Espectro eletromagnético Cores e temperatura
Polarização	Polarização
Difração da luz	Difração
Reflexão e refração	Conceitos de reflexão e refração Espelhos e lentes Reflexão em Espelhos planos e esféricos variando a posição do objeto (2 painéis) Lentes convergentes Lentes divergentes
Espalhamento	Prisma
Instrumentos ópticos	Telescópio ou luneta Câmera fotográfica Microscópio
Modelos atômicos	Modelos de Dalton e Thomson Modelos de Rutherford e Bohr
Dualidade onda-partícula	Explicação do fóton
Efeito fotoelétrico	Efeito fotoelétrico Fotomultiplicadora
Como se forma a visão	Explicação de onde partem os raios O olho humano Problemas de visão: miopia e hipermetropia

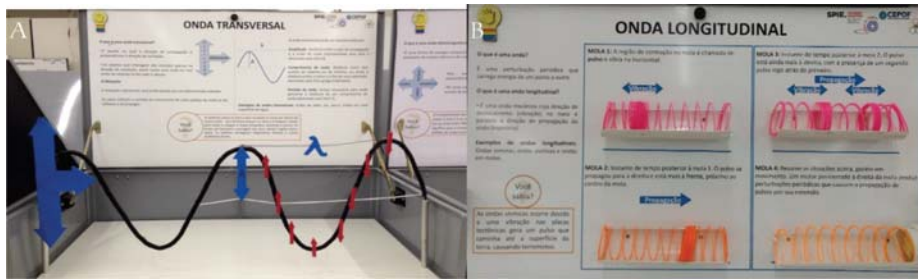


Figura 4: Painel explicativo da onda longitudinal (A) e painel explicativo da onda transversal (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

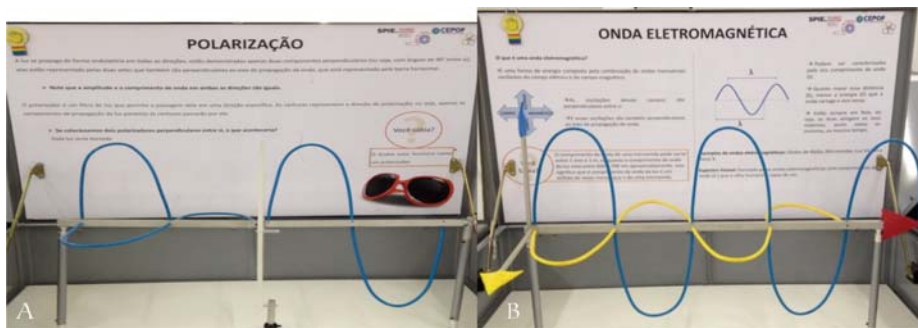


Figura 5: Painel da onda eletromagnética (A) e painel da polarização (B), onde a seta indica a lâmina polarizadora. Fonte: Elaborada pelos autores.

fora da região do visível, colocando cegos e videntes em patamares de compreensão semelhantes. Se o raio-X ou o infravermelho não são visíveis a olho nu, pode-se usar o mesmo mecanismo de ensino para as cores.

Considerando o campo elétrico e mantendo a mesma cor e textura do arame, foi construído o painel para explicação da polarização da luz. O “polarizador” é um filtro de luz que permite a passagem da onda transversal apenas em uma direção. Então, um disco de acrílico com ranhuras em uma direção específica podia ser girado de modo que apenas uma componente da onda estivesse presente depois do polarizador. Essa componente estava paralela às ranhuras, mostrando que, independentemente da direção em que a lâmina estava, a onda final seguiria polarizada nessa direção (Fig. 5B). Nesse ponto, é importante lembrar que, assim como a descrição nos painéis introdutórios, o braille e a audiodescrição ressaltam que a direção de propagação dessa onda luminosa é horizontal e com sentido para a direita, para evitar confusão quanto ao funcionamento do polarizador.

Tendo mostrado os conceitos de ondas eletromagnéticas e polarização, introduziu-se o conceito de espectro eletromagnético. Apesar de o fenômeno da cor possuir significado indissociável da representação visual (isto é, somente pode ser percebido e compreendido a partir da percepção e da representação visual), alguns de seus

conceitos, como os de comprimento de onda e frequência, podem ser explorados por meio de maquetes táteis. Por exemplo, os diferentes comprimentos de onda são relacionados com o inverso da temperatura, mostrando que são grandezas inversamente proporcionais. O significado abordado de cores pode ser, portanto, vinculado às representações táteis [5]. Por isso, utilizando um fio, foram mostrados os diferentes comprimentos de onda do espectro em um painel. Juntamente foram colocadas três placas metálicas ligadas a uma resistência com temperatura controlada em três regiões do espectro mostrado. As chapas de maior, média e menor temperatura foram colocadas, respectivamente, perto dos comprimentos de onda de cor azul, verde e vermelha.

Esse painel está mostrado na Fig. 6A, onde se pode notar as placas metálicas e o fio (branco) mostrando o comprimento de onda.

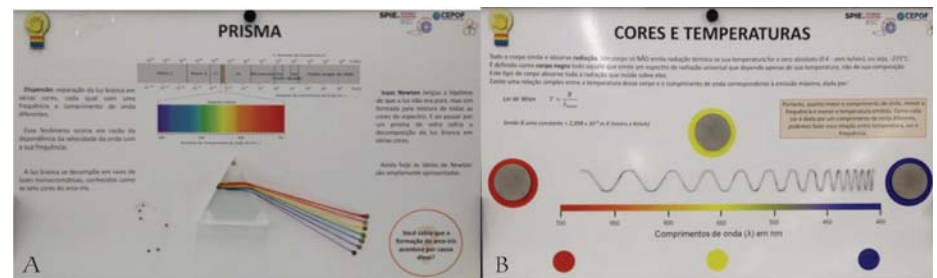


Figura 6: Painel explicativo dos conceitos de cores e temperaturas (A) e painel explicativo dos conceitos do prisma (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir do entendimento dos conceitos de frequência e comprimento de onda para diferentes cores, foi possível introduzir o conceito de dispersão da luz branca quando incidente em um prisma. Foi tomado o cuidado de mostrar que a luz branca era formada por diferentes comprimentos de onda – nesse caso, representados por barbantes diferentes, com diferentes espessuras e texturas. A luz passa por dentro do prisma, que possuía uma tampa móvel sobre ele, e o feixe de luz, ao sair, possui ângulos diferentes para as diferentes cores. Para os videntes, a cor dos barbantes também muda de acordo com a sua dispersão para facilitar o entendimento (Fig. 6B). Deve-se notar que além da dispersão da luz branca, esse painel auxilia na compreensão do espectro eletromagnético e abre caminho para os tópicos de óptica física e geométrica.

Quando a luz encontra um objeto de mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda da luz visível, acontecem os fenômenos de difração e interferência. Esses fenômenos foram mostrados utilizando o relevo dos desenhos presentes nos livros didáticos, bem como o comportamento da luz quando encontra uma superfície refletora (representada por material metálico) e refratora (acrílico), sendo a luz branca representada sempre pelo mesmo material. Com esse conjunto de materiais foram explorados os conceitos teóricos desses fenômenos, como a lei da reflexão e a lei de Snell.

Uma sequência de painéis mostrou os fenômenos de refração e reflexão, com todas as possibilidades de formação de imagens a partir de um objeto em frente a espelhos planos e esféricos e a lentes divergentes e convergentes. Um painel introdutório com todos esses elementos foi elaborado com a descrição de cada um. A Fig. 7a mostra esse painel, com suas representações. Além dos espelhos e lentes, que foram diferenciados pelo material metálico e pelo acrílico, respectivamente, o “objeto” sempre era representado por uma seta de EVA áspera, enquanto a “imagem” era representada por uma seta de EVA lisa. O

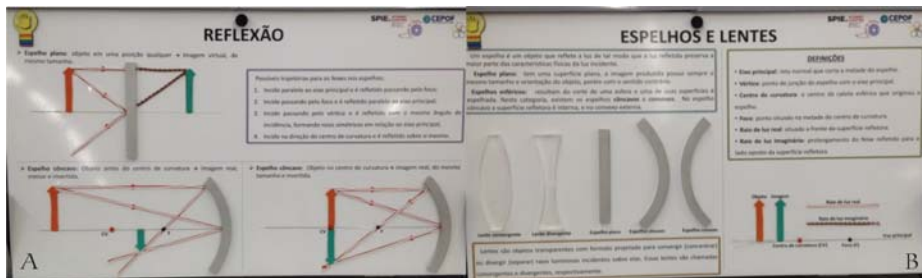


Figura 7: Painel explicativo sobre espelhos e lentes (A) e painel explicativo sobre reflexão (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

raio de luz real era representado por um fio único e liso e o raio imaginário, por um fio duplo e achatado. Além disso, o centro de curvatura era representado por uma miçanga cilíndrica e o foco por outra miçanga esférica, ambas cortadas ao meio. Um exemplo dos painéis com a formação das imagens a partir de espelhos esféricos e plano está mostrado na Fig. 7B.

Com a fixação dos elementos de formação de imagem, então, foi possível fazer os painéis com instrumentos ópticos comuns. Foram feitos painéis mostrando o telescópio, a máquina fotográfica e o microscópio. Como as pessoas que não estão em um ambiente acadêmico ou de pesquisa em geral não têm contato com alguns desses instrumentos, além de mostrar o arranjo de lentes presentes em seu interior foram colocados instrumentos reais para que o visitante pudesse tocar um objeto com dimensões e características reais. Como mostrado na Fig. 8, uma luneta pela metade foi colada no painel juntamente com as lentes utilizadas em painéis anteriores. A imagem formada em uma lente, que é o objeto de outra, foi representada por texturas diferentes do objeto inicial e da imagem final, seguindo os padrões dos painéis anteriores.

Tendo finalizado os conceitos de óptica geométrica, partiu-se finalmente para a explicação do efeito fotoelétrico. Entretanto, para isso foi necessário mostrar antes a estrutura do átomo e os modelos atômicos pensados ao longo da história. Os modelos de Dalton (da esfera maciça) e de Thomson (com o pudim de passas) foram elaborados com bolas grandes e pequenas de poliestireno expandido (EPS), conhecido no Brasil pelo seu nome comercial Isopor, representando o núcleo e os elétrons, respectivamente. Em outro painel, foram representados os modelos de Rutherford e Bohr, com o núcleo menor e os elétrons em órbitas representadas por um arame fino.

A partir do conceito de Bohr, então, foi introduzida a dualidade onda-partícula. O fóton é o conceito fundamental para o entendimento do comportamento cor-

puscular da luz. Os pacotes de energia foram representados por círculos de borracha EVA com texturas e diâmetros diferentes para representar a energia relacionada aos fótons de diferentes comprimentos de onda (e, portanto, diferentes cores), relacionando a quantidade de energia com diferentes comprimentos de onda.

Quando se faz incidir luz sobre uma superfície metálica, há emissão de elétrons. Para tanto, o efeito fotoelétrico foi demonstrado com o uso de tubos de PVC cortados na metade representando os emissores de fótons e círculos de EVA representando os fótons em si. A interação de fótons de energias diferentes (representados no painel por tamanhos distintos) com uma placa metálica poderia ou não

liberar um elétron da placa, representado por um pequeno cilindro metálico. Os painéis da representação atômica e o efeito fotoelétrico estão mostrados nas Figs. 9A e 9B, respectivamente.

Mostrados os conceitos da física que envolvem a óptica, foi introduzida uma das aplicações do entendimento da luz. Visto que os painéis foram acessíveis às pessoas com algum tipo de deficiência visual, a exposição continha três painéis finais para explicar como a visão é formada e como a história sobre esse tema evoluiu ao longo do tempo. Foram usadas semi-esferas de EPS cobertas por fita de textura lisa para representar o sol, EVA recortado no formato de uma árvore representando o objeto, além de triângulos e círculos de EVA para representar alguns elementos extras. As diferentes teorias sobre como as pessoas enxergavam foram mostradas então com esse conjunto de elementos. Esse painel se destaca por mostrar que possíveis concepções alternativas dos visitantes são semelhantes às posições filosóficas e históricas de antigos e importantes personagens da ciência (Fig. 10A). Mostrar que a hipótese elaborada pelo visitante de como nós enxergamos, talvez antes equivocada, já foi a visão de grandes filósofos da humanidade, o que cria uma postura diferente frente ao erro e toma



Figura 8: Painel explicativo que traz os conceitos e explicações sobre telescópio ou luneta. Fonte: Elaborada pelos autores.

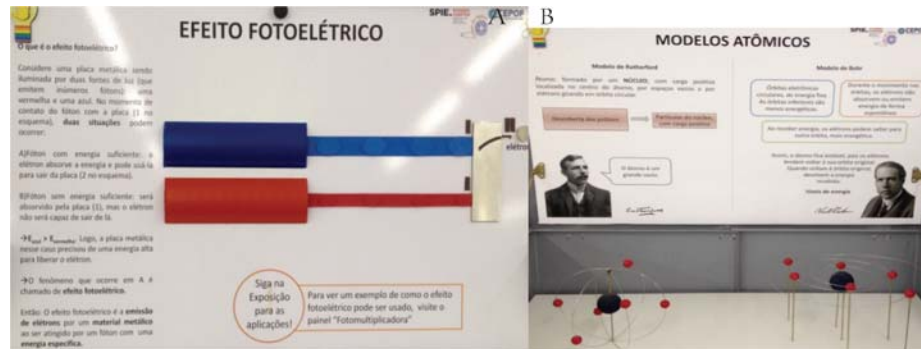


Figura 9: Painel da representação dos modelos atômicos (A) e painel do efeito fotoelétrico (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

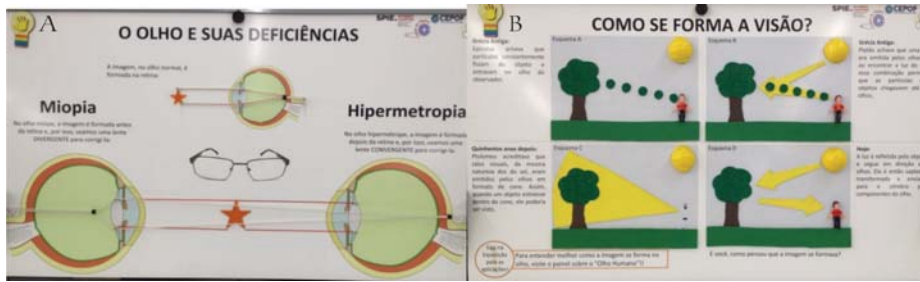


Figura 10: Imagem dos painéis de como se forma a visão (A) e do olho e suas deficiências (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

por referencial de certo e errado o conhecimento científico.

Ainda para mostrar como a visão se forma, foi feito um painel mostrando os elementos do olho humano, com elementos simples representando as estruturas responsáveis pela formação da imagem. Fios, lentes de acrílico e borracha representavam as diferentes estruturas. Com a representação da retina e, portanto, do local de formação da imagem, foi feito outro painel mostrando o olho e os problemas de miopia e hipermetropia, pela formação da imagem antes e depois da retina, respectivamente. Os painéis de como se forma a visão e dos problemas de visão estão mostrados na Fig. 10.

Exposição “Luz ao Alcance das Mãos”

A exposição “Luz ao alcance das mãos” visou, além de atingir pessoas com algum tipo de deficiência visual, mostrar aos professores que é possível preparar um material completo que permita o acesso a todos os alunos, ensinando conceitos de óptica de forma completa e inclusiva. É também uma nova estratégia de ensino, na qual o aprendizado de pessoas sem deficiência visual é facilitado, mostrando um

caminho diferente do tradicional.

Essa exposição foi inaugurada no Museu Ciência e Vida de Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, onde permaneceu por três meses. Depois, esteve presente na Feira de Ciências da exposição voltada ao público jovem do 67º Encontro da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, na Universidade Federal de São Carlos e, desde 2016, está alocada no Museu da Ciência de São Carlos Professor Mario Tolentino, em um empréstimo de três anos.

Quando essa exposição foi para o Museu da Ciência de São Carlos, foi realizada uma adaptação de todo o Museu, com introdução de faixas de localização para cegos, o que tornou o museu muito mais inclusivo a partir disso. Isso mostra que a presença de elementos inclusivos em um ambiente pode transformá-lo completamente, extrapolando a ação de ensino de um painel.

Conclusão

Este artigo apresenta um método para o ensino de vários conceitos e propriedades ópticas com o desenvolvimento de ferramentas de ensino usando materiais simples e de baixo custo. Desse modo, foi pos-

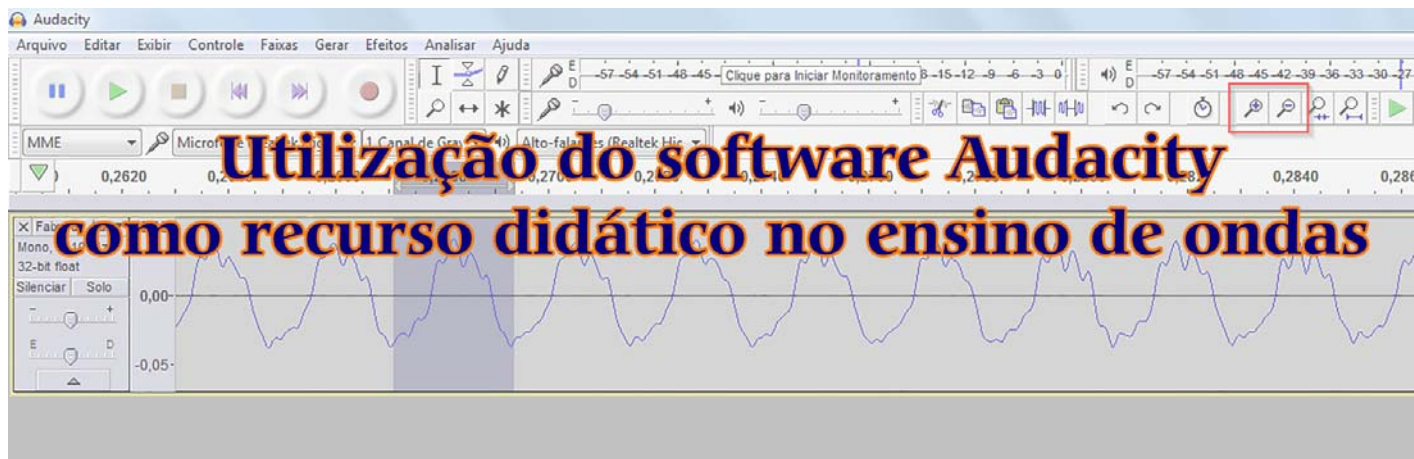
sível explorar conceitos de óptica de uma forma que tanto pessoas com deficiência visual quanto videntes pudessem aproveitar a exposição e aprender. Além disso, essa ferramenta favorece a capacitação de professores para realização de atividades de ensino que incluam as particularidades de qualquer aluno. Assim como a óptica, acredita-se que outras áreas com conteúdo gráfico também possam utilizar essa metodologia para facilitar o ensino de pessoas com deficiência visual.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração de todo o Instituto de Física de São Carlos, em especial ao professor Tito José Bonagamba e ao Herbert Alexandre João; à equipe da oficina mecânica, em nome do Ademir Moraes e Leandro de Oliveira; ao Grupo de Óptica, mais precisamente a Evaldo José Pereira de Carvalho, Vanda Pinto de Moura, Leandro Serillo Pingueiro, Lilian Tan Moriyama, José Dirceu Vollet-Filho, e ao Laboratório Instrumentação Eletrônica (LIEPO) e ao João Marcelo Nogueira, por auxiliarem na confecção dos painéis. À equipe do Museu Ciência e Vida e a Monica Santos Dahmouche e Liliana Coutinho, ao apoio da Secretaria Municipal da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida da prefeitura de São Carlos, em nome da Tamy Aline Sato e ao Museu de Ciências de São Carlos Professor Mario Tolentino e seu diretor Paulo Roberto Milanez. Agradecemos também ao apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – processo: 2013/07276-1 (CEPOF – CEPID Program)), da Olimpíada Brasileira de Física e à SPIE (International Society of Optics and Photonics) pelo apoio financeiro via SPIE Student Chapter. Agradecemos, em especial, ao professor Vanderlei Salvador Bagnato pelo apoio na execução e pelas ideias na elaboração de vários painéis, além de viabilizá-la de forma geral.

Referências

- [1] World Health Organization, Visual impairment and blindness. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>, acesso em 3/8/2017.
- [2] Portal Brasil, Dia mundial da visão alerta para a prevenção da cegueira no País. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/10/dia-mundial-da-visao-alerta-para-a-prevencao-da-cegueira-no-pais>, acesso em 3/9/2017.
- [3] E.A.G. Fávero, *Direito das Pessoas com Deficiência: Garantia de Igualdade na Diversidade* (WVA, Rio de Janeiro, 2007), p. 37-38.
- [4] E.P. de Camargo, *Saberes Docentes para a Inclusão do Aluno com Deficiência Visual em Aulas de Física* (Editora Unesp, São Paulo, 2012), v. 1, p. 274.
- [5] A. Gaspar, *Introdução à Eletricidade* (Ática, São Paulo, 2000), v. 3.
- [6] E.F. Torres, A.A. Mazzoni, A.G. de Melo, *Educação E Pesquisa* **33**, 369 (2007).
- [7] E.P. De Camargo, R. Nardi, E.V. Veraszto, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 3401.1–3401 (2008).
- [8] J.B. Cerqueira, M.A. Ferreira, *Revista Benjamin Constant* **5**, 24 (1996).
- [9] A.C. Azevedo, A.C.F. Santos, *Physics Education* **49**, 1 (2014).
- [10] A.C. Azevedo, L. P. Vieira, C. E. Aguiar, A. C. F. Santos, *Physics Education* **50**, 15 (2014).
- [11] L.S. Vygotsky, in: *Problemas Especiales da Defectologia* (Editorial Pueblo Y Educación, Havana, 1997), p. 74-87.
- [12] E.P. De Camargo, *Inclusão e Necessidade Educacional Especial: Compreendendo Identidade e Diferença Por Meio do Ensino de Física e da Deficiência Visual* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2016), p. 23-47.
- [13] E.P. De Camargo, *Ensino de Óptica para Alunos Cegos: Possibilidades* (CRV, Curitiba, 2011), 1ª ed.



.....

Tiago Garcia Ribeiro

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Física, ICE,
Programa de Pós-Graduação em Física,
Juiz de Fora, MG, Brasil.
E-mail: tiagrubeiro@gmail.com

Clarice Parreira Senra

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Educação, Juiz de
Fora, MG, Brasil e Programa de Pós-
Graduação em Ciência, Tecnologia e
Educação - CEFET-RJ, Rio de Janeiro,
RJ, Brasil
E-mail: claricesenra@yahoo.com.br

Mateus Antônio Resende

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Física, ICE,
Programa de Pós-Graduação em Física,
Juiz de Fora, MG, Brasil.
E-mail: mateus.ufsj@gmail.com

.....

Com o presente estudo, apresentamos uma poderosa ferramenta para o ensino de ondas e dos fenômenos relacionados: o software Audacity, um programa de gravação e edição de áudios com diversas funcionalidades que podem ser utilizadas para que o estudante possa visualizar e estudar as características de uma onda sonora. Ao longo deste trabalho desenvolvemos uma série de atividades com orientações para os professores visando a utilização do software Audacity em sala de aula.

Introdução

Neste artigo apresentamos uma proposta de atividades que podem ser aplicadas durante a abordagem de ondas sonoras no Ensino Médio. Para contextualizar os conceitos e fenômenos relacionados, utilizamos o *software* Audacity, um programa livre e disponível gratuitamente para descarga [1] que permite a gravação, edição e manipulação de áudio digital. Com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), surgem novas ferramentas que permitem auxiliar o professor e suas aulas sobre conceitos e fenômenos físicos, muitas vezes abstratos, que podem ser então representados por meio de simulações e experimentos, permitindo assim que o aluno possa relacionar e interpretar tais conceitos e fenômenos de forma mais clara. Muitas vezes, no entanto, os professores não encontram material de apoio para realizar tais atividades nas salas de aula. Portanto, somente a utilização de um *software* não favorece o aprendizado. É necessário ainda que o professor faça a devida contextualização dos fenômenos e indique as limitações do que se apresenta. É preciso criar condições para que os alunos façam a transição do que é apresentado pelo programa e a realidade estudada [2].

Nesse sentido, desenvolvemos um conjunto de atividades planejadas para auxiliar o professor na abordagem do conteúdo de ondas sonoras na disciplina de física para o Ensino Médio.

O conceito

O conceito de ondas está relacionado com perturbações que se propagam ao

longo de um meio ou do vácuo. Dentre elas se destacam as ondas sonoras, que se originam de perturbações em meios materiais (sólidos, líquidos ou gasosos), e as ondas eletromagnéticas, que são devidas aos distúrbios gerados por campos elétricos e magnéticos. Essas últimas não necessitam de um meio material para se propagar, deslocando-se até mesmo no vácuo. Ambas as perturbações transmitem energia de um ponto para outro, porém não envolvem o transporte de matéria. No presente estudo, daremos enfoque nos fenômenos relacionados ao som.

Ondas sonoras são produzidas através da vibração mecânica de materiais. Essas vibrações produzem ondas mecânicas que, diferentemente das ondas eletromagnéticas, precisam de um meio para se propagar. Apesar de comumente estarmos interessados na propagação do som no ar, este também pode se propagar em meios sólidos e líquidos. Ao ligar um alto-falante dentro de uma sala fechada é possível perceber claramente a

propagação das ondas através das paredes. Também é comum assistirmos em filmes a utilização do *sonar* (do inglês *sound navigation and ranging* ou “navegação e determinação de distância pelo som”) em submarinos, por meio do qual um instrumento emissor gera pulsos sonoros que se propagam pela água.

Dentre as características de uma onda sonora, destacam-se: frequência, comprimento de onda, amplitude e timbre.

Quando se trata de ondas sonoras em geral, e em especial neste trabalho, estamos interessados em vibrações periódicas, em que há um movimento se repetindo indefinidamente, o que chamamos de ci-

Com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), surgem novas ferramentas que permitem auxiliar o professor e suas aulas sobre conceitos e fenômenos físicos, mas é preciso criar condições para que os alunos façam a transição do que é apresentado pelo programa e a realidade estudada

culos. Assim, o número de ciclos dentro de um certo intervalo de tempo é chamado de *frequência* da onda. A frequência é o fator responsável por determinar a altura do som. Um som alto é um som com frequência alta, reconhecido como um som agudo. Já um som baixo, de baixa frequência, representa os sons mais graves. O intervalo audível é a faixa de sons perceptíveis ao ouvido humano, compreendida entre 20 e 20000 Hz (ciclos por segundo). O comprimento e o tempo de duração de um ciclo são chamados, respectivamente, de comprimento de onda e período.

A amplitude de uma onda pode ser mais bem compreendida como intensidade. Quanto maior a amplitude da onda produzida, maior será a pressão exercida sobre o ouvido e, portanto, maior será a intensidade sonora percebida. Os níveis de intensidade sonora são expressos em decibéis (dB).

Duas ondas sonoras podem ter as mesmas frequência e amplitude, porém produzirem sons que serão percebidos de maneiras diferentes. Uma mesma nota musical pode ser gerada por uma flauta e um violão, por exemplo, mas as características do som emitido por cada instrumento são bem distintas. Isso porque as ondas podem ter formatos diferentes. Essa diferença é conhecida como *timbre* e é descrita por termos subjetivos como “doce”, “áspero”, “estridente”, entre outros.

No decorrer deste trabalho vamos explorar esses conceitos e os fenômenos a eles relacionados, visando facilitar a abordagem desse tema em sala de aula por parte dos professores do Ensino Médio. Para isso, vamos propor um conjunto de atividades que podem ser realizadas em sala de aula. Nessas atividades, fornecemos uma explicação detalhada dos fenômenos e conceitos envolvidos, juntamente com demonstrações e experimentos que são passíveis de execução em sala de aula por meio da utilização do programa Audacity.

Audacity - tecnologia profissional aplicada ao ensino

O Audacity é um programa profissional de gravação e edição de áudio com ferramentas que permitem reproduzir, importar/exportar arquivos em diferentes formatos, analisar espectros de frequência, entre outras diversas funcionalidades. Tudo isso em um *software* livre, disponível gratuitamente para download com versões para Windows, Mac e Linux. Os recursos disponíveis aliados a uma interface de fácil manipulação fazem do Audacity uma tecnologia muito promissora no auxílio dos professores de física, prin-

cipalmente no que diz respeito à demonstração e experimentação dos fenômenos relacionados às ondas sonoras.

Para vermos como isso pode ser feito, vamos inicialmente enfatizar dois recursos principais do Audacity para sua utilização em sala de aula. O primeiro deles é o recurso “Gravar”, acionado pelo botão em destaque na Fig. 1. Com esse recurso o professor será capaz de gravar determinado som e automaticamente o programa gera um gráfico correspondente, ou seja, uma representação matemática que caracteriza aquele som, sendo assim possível identificar a frequência e outras características da onda sonora gravada. Para auxiliar nessa identificação, o Audacity conta com algumas ferramentas como “Seleção” e “Zoom”, entre outras, que estão disponíveis em sua janela principal e são de fácil identificação. Para encontrá-las basta passar o cursor do mouse sobre os botões e seus nomes serão exibidos.

A título de exemplo podemos, com um simples uso da ferramenta “Zoom”, notar já de início que o gráfico associado ao som gravado na Fig. 1 auxilia na per-

cepção de um padrão que se repete dentro de um determinado intervalo de tempo. Em seguida, a ferramenta de seleção pode ser usada para selecionar qualquer intervalo do gráfico e o Audacity nos fornece o tempo correspondente dessa seleção, como indicado pela seta na Fig. 1. Com isso, o professor pode determinar em sala de aula o período de uma onda sonora gravada pelo Audacity, que foi emitida por um certo instrumento musical, por exemplo. Veremos nas atividades a seguir como isso pode ser feito em sala de aula com o auxílio do Audacity.

Em sentido contrário, outro recurso valioso do Audacity é o de geração de um tom, ativado pela sequência em destaque na Fig. 2. Uma vez clicando em “Tom” o programa abrirá uma nova janela onde será possível determinar a forma da onda (representação matemática), a frequência, a amplitude e o tempo de duração da mesma. Especificados esses parâmetros, o Audacity plotará um gráfico que representa essa onda e, o mais impressionante, por meio do botão destacado na Fig. 3, ele nos permite gerar o som que essa repre-

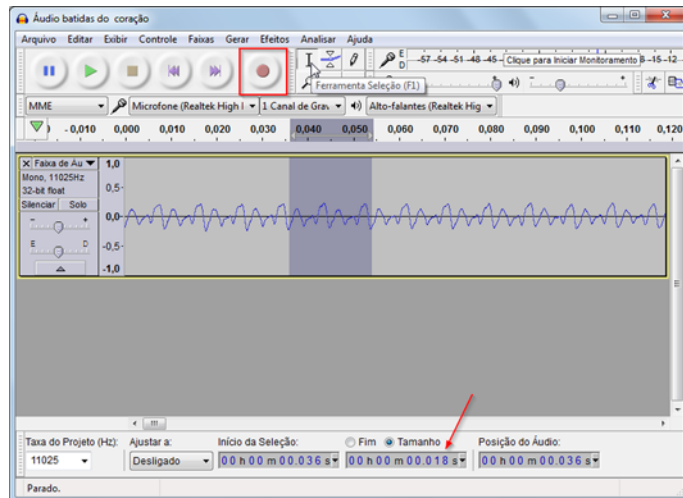


Figura 1: Som emitido pela corda Lá (440 Hz) de um violão.

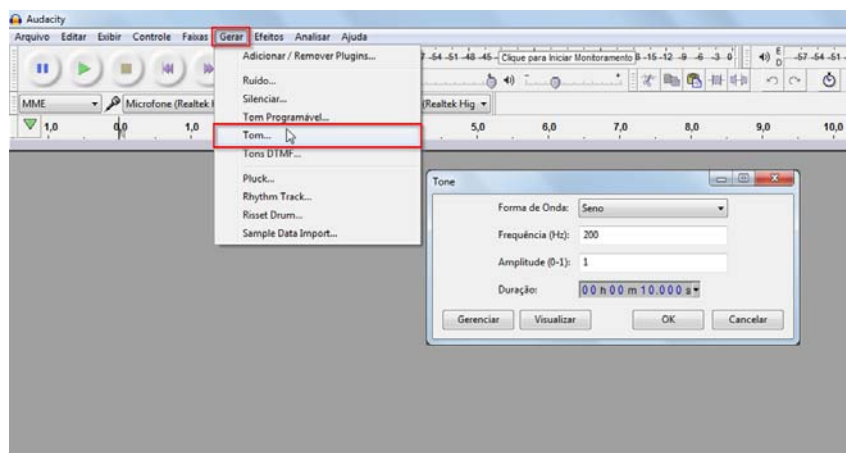


Figura 2: Geração de um som dentro do Audacity.

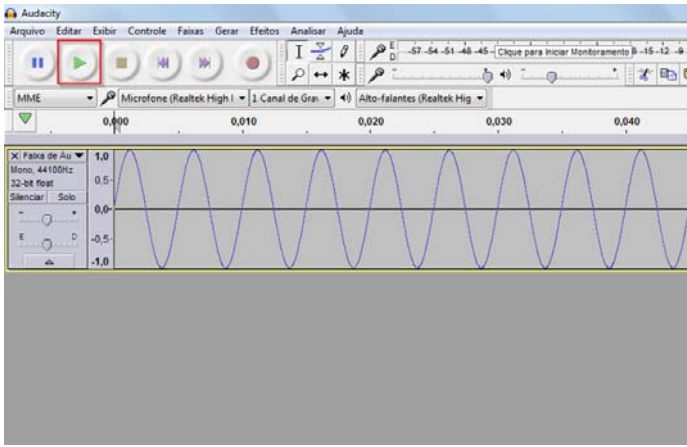


Figura 3. Onda de formato seno, frequência 200 Hz, amplitude 1 e duração de 10 s.

sentação gráfica da onda sonora tem. Esse recurso em especial será de grande utilidade para que o professor possa exemplificar em sala de aula fenômenos como ressonância, interferência e as percepções de altura e intensidade sonora. Nas demais atividades para sala de aula desenvolvidas neste trabalho vamos mostrar como isso pode ser feito no Audacity.

O Audacity obviamente ainda possui muitos outros recursos e ferramentas; vamos recorrer a alguns mais durante o texto, mas outros estão fora do contexto deste trabalho.

Estratégia de utilização

Será necessário que o professor tenha à sua disposição um computador, um *datashow* (para que todos os alunos possam ver dos seus lugares as imagens geradas pelo programa) e caixas de som para reproduzir os áudios. Quanto melhor for a qualidade das caixas de som utilizadas (como alto-falantes e *home theaters*, por exemplo), melhor será a qualidade do som e a percepção das características de cada onda. Vale ressaltar que a utilização tanto de caixas de som mais profissionais quanto do *datashow* só melhoram a apresentação do conteúdo em sala, não impedindo em nada a realização do experimento na ausência dessas.

Com as atividades propostas aqui, o professor não necessariamente precisará de uma aula introdutória para apresentar os conceitos iniciais aos alunos, podendo fazê-la já dentro das próprias atividades.

Atividade 1: Relação entre comprimento de onda, período e velocidade

Como uma primeira utilização do Audacity em sala de aula, vamos usá-lo para exemplificar as relações entre a frequência f , o período T e o comprimento de onda λ de uma onda sonora. Esse tipo

de onda, ao se propagar em determinado meio, possui um período T , um comprimento de onda λ e uma velocidade de propagação v , que estão relacionados por $v = \lambda/T$. Da mesma forma, como o período é o inverso da frequência, podemos também escrever $v = \lambda f$ [3].

O som, ao se propagar pelo ar, possui uma velocidade de aproximadamente 340 m/s. Essa velocidade varia tanto se mudarmos o meio de propagação - por exemplo, na água a velocidade do som é de 1500 m/s - quanto se mudarmos as propriedades do próprio meio, por exemplo, mudanças na temperatura do ar. Contudo, para a maioria dos casos de interesse podemos considerar constante a velocidade do som no ar.

Para exemplificar a utilização da relação entre velocidade, período e comprimento de onda o professor pode em sala de aula realizar a atividade a seguir. Utilizando-se de um diapasão de sopro, facilmente encontrado em casas de instrumentos musicais, o professor pode gravar o som

emitido pelo mesmo com o Audacity. Feito isso, o programa gerará uma representação gráfica desse som, que tem uma frequência bem especificada no diapasão. Com boa aproximação, a forma da onda gerada será similar à encontrada na Fig. 4, se gravada a nota musical Lá de 440 Hz. Feito isso, o professor poderá ampliar e reduzir o gráfico usando as ferramentas "Aumentar Zoom" e "Diminuir Zoom", destacadas na Fig. 4. Dessa maneira, já é possível notar que a onda tem uma forma bem definida que se repete continuamente. O professor pode agora, com o uso do mouse e da ferramenta de seleção, selecionar um único padrão desses, o que corresponde a selecionar um único comprimento de onda λ da onda sonora. O Audacity não informa quanto vale λ , mas aumentando-se consideravelmente o zoom do gráfico é possível identificar, como indicado pelas setas na Fig. 4, os instantes de tempo inicial e final correspondentes a esse comprimento de onda selecionado. O intervalo entre esses instantes de tempo nada mais é que o período T da onda. Para o caso em questão na Fig. 4, $T = 0,2694 - 0,2671 = 0,0023$ s.

Uma vez que o Audacity auxilia na tarefa de determinar o período, a frequência da onda pode ser confirmada pela relação $f = 1/T$. Fazendo-se isso com base na Fig. 4 o professor, juntamente com os alunos, chegará em $f = 435$ Hz, aproximadamente. Isso concorda muito bem com o esperado, desde que o som emitido pelo diapasão seja a nota Lá com frequência de 440 Hz. O professor pode ainda determinar o comprimento de onda pela relação $\lambda = vT$, usando para isso $v = 340$ m/s, a velocidade do som no ar. Dessa maneira, o resultado para o comprimento de onda da nota Lá é $\lambda = 0,78$ m.

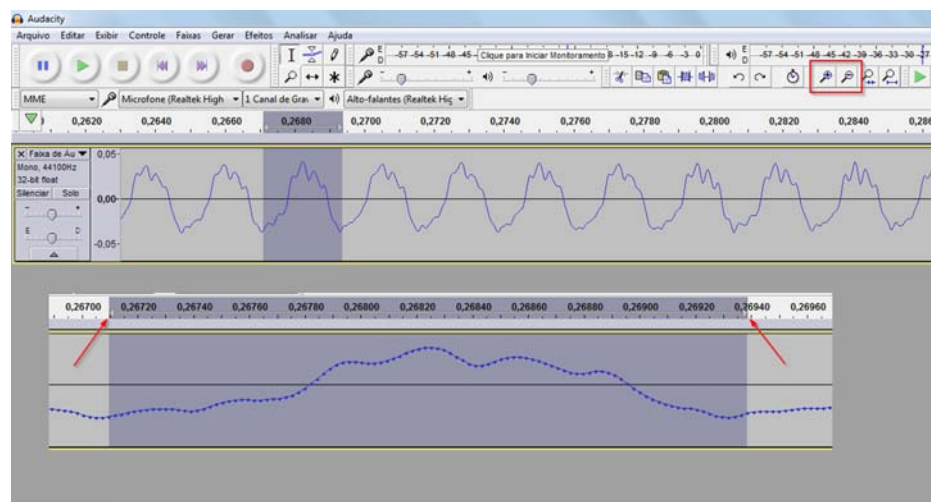


Figura 4: Representação gráfica da onda sonora emitida por um diapasão de sopro executando a nota Lá de 440 Hz, feita pelo Audacity.

Atividade 2: Altura e intensidade sonora

Vamos apresentar agora uma segunda proposta de utilização do Audacity em sala de aula. Desta vez estamos interessados em usar o programa para exemplificar e distinguir altura de intensidade sonora. Em situações cotidianas é comum usarmos os conceitos de alto e baixo relacionados a um som. Por exemplo, quem nunca reclamou que o som em uma festa estava muito alto? Ou então, quando toca aquela música que você gosta e você corre ao aparelho de som porque diz que o som está baixo. Na verdade, essa utilização de alto e baixo está incorreta. O que caracteriza a altura de um som é sua frequência, que é a responsável por causar no ouvinte a percepção de agudo e grave. Assim, um som alto é um som de frequência alta e um som baixo, aquele com baixa frequência.

Nas situações cotidianas mencionadas, o que queremos dizer é que o som da festa estava muito forte e o aparelho de som emitia um som muito fraco. Esses conceitos de fraco e forte estão relacionados à intensidade sonora. A intensidade sonora diz respeito à quantidade de energia transportada por uma onda que chega a uma determinada superfície. Por exemplo, a orelha de um ouvinte. A intensidade de determinada onda sonora está ligada à amplitude dessa onda. Então, a função de uma caixa acústica é captar a voz de uma pessoa que fala ao microfone ou o som de um instrumento musical e emití-los com uma intensidade, e consequentemente uma amplitude, maior.

Com isso em mente o professor, utilizando-se do Audacity, pode fazer em sala de aula as demonstrações a seguir. Utilizando o recurso de gerar tom do Au-

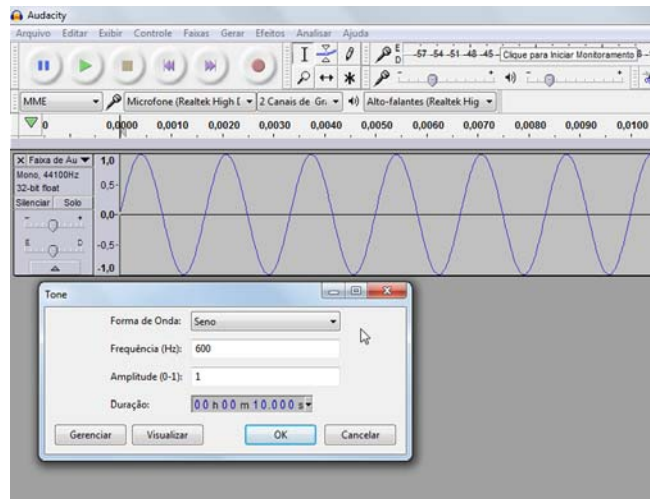


Figura 6: Representação gráfica da onda de 600 Hz no Audacity.

dacity o professor gera, por exemplo, um tom de frequência 100 Hz e amplitude 1, como mostrado na Fig. 5. Em seguida acionando-se o botão reproduzir, indicado na figura, os alunos poderão notar a sensação causada por uma onda sonora de 100 Hz, um som grave. Agora o professor pode gerar um segundo tom dentro do Audacity. Dessa vez é conveniente gerar, por exemplo, um tom de 600 Hz, como mostrado na Fig. 6. Clicando-se novamente no botão reproduzir, os alunos perceberão a sensação causada por um som agudo. Com essa atividade os alunos vão experimentar como é ouvir um som relativamente alto (600 Hz) em comparação com um som baixo (100 Hz). Inclusive, pode-se alterar o volume do aparelho de som usado em sala de aula para evidenciar que o fato de aumentar ou diminuir o volume do som não altera a percepção de grave ou agudo, ou seja, a frequência do som.

Agora, com o intuito de mostrar que

a intensidade sonora está associada à amplitude da onda, o professor pode realizar o seguinte procedimento. Primeiramente, gerar no Audacity um tom de frequência 440 Hz e amplitude 0,5. Em seguida, gerar um tom de mesma frequência, mas amplitude 1, como mostrado na Fig. 7. Nota: para gerar dois tons separadamente no Audacity, o professor deve gerar o primeiro tom normalmente, depois clicar na área indicada pelo cursor do mouse na Fig. 7 e em seguida gerar o próximo tom.

Gerados esses dois tons, o professor pode abordar como as amplitudes diferentes se manifestam na representação gráfica das ondas. O próprio Audacity auxilia nessa tarefa, como pode ser visto na Fig. 7. A amplitude representa o máximo afastamento do gráfico da onda a partir da linha horizontal. Como indicado na Fig. 7, a onda com amplitude 1 afasta-se duas vezes mais dessa linha que a onda de amplitude 0,5. Note que a frequência não se altera.

Agora, para mostrar o efeito sonoro causado pela diferença nas amplitudes das ondas, o professor deve se certificar de que o aparelho de som utilizado permaneça com o volume fixo. Usando o botão silenciar, destacado na Fig. 7, de cada tom gerado, o professor pode reproduzir separadamente cada onda. Reproduzindo-se primeiramente a onda de amplitude 0,5 e logo após a de amplitude 1, com o mesmo volume do aparelho de som, ficará clara a relação entre a intensidade sonora percebida e a amplitude. A onda com maior amplitude é percebida como um som mais forte, enquanto a de menor amplitude exibe um som mais fraco. Essa demonstração deixa evidente que aumentar a amplitude da onda no Audacity é similar a um aumento no volume do aparelho de som, o que consequentemente eleva a per-

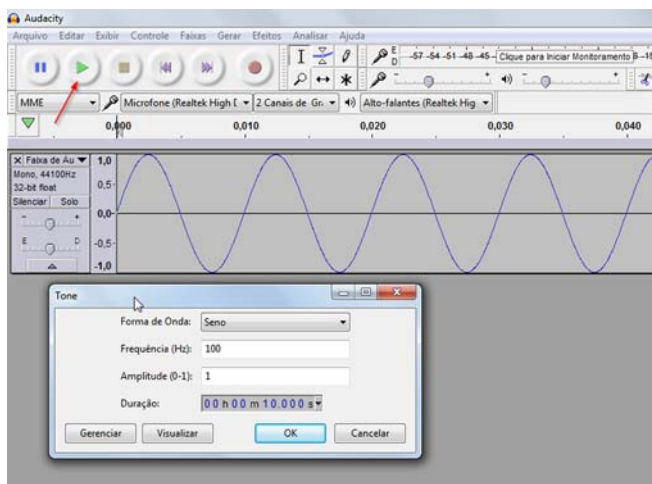


Figura 5: Representação gráfica da onda de 100 Hz no Audacity.

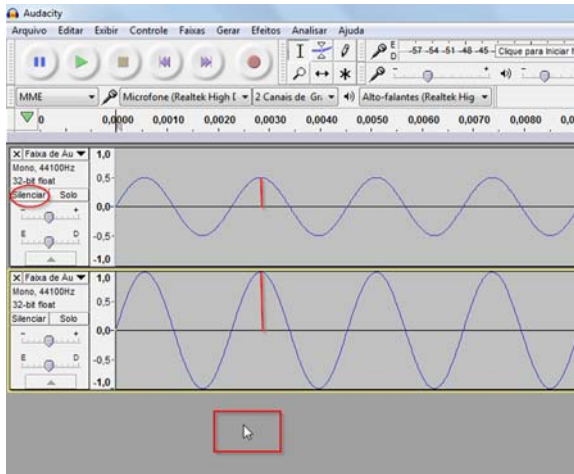


Figura 7: Representação gráfica de duas ondas com frequência de 440 Hz e amplitudes diferentes no Audacity.

cepção da intensidade sonora pelo ouvinte.

O professor pode ainda mostrar que a percepção da intensidade sonora é independente das frequências dos sons emitidos. Ou seja, na demonstração anterior os sons não necessariamente deveriam ter frequências iguais a 440Hz; bastava apenas que eles tivessem amplitudes diferentes. Para exemplificar isso, o professor pode gerar dois tons, um de frequência 80Hz, faixa de frequência dos trovões, e amplitude 1, e outro de frequência 600 Hz, faixa de frequência do zumbido de um pirlongo, mas com amplitude 0,01, como mostrado na Fig. 8. Para o mesmo volume do aparelho de som, executando cada um dos sons separadamente, ficará evidente que o som na faixa dos trovões é muito mais intenso que o som na faixa dos pirlongos, exatamente como acontece na realidade. Os pirlongos emitem um som mais alto (frequência mais alta), porém fraco (menos intenso).

Por outro lado, os trovões emitem um som baixo (frequência baixa), mas muito forte (alta intensidade). Já pensou se o som emitido pelo pirlongo fosse tão intenso quanto o som do trovão?

Atividade 3: Interferência de ondas sonoras

Nos exemplos de utilização do Audacity em sala de aula que abordamos até agora, sempre geramos e executamos uma determinada onda sonora com características bem estabelecidas. Mas o que acontece se trabalharmos com mais ondas de uma só vez? A resposta a essa pergunta é um fenômeno muito comum no estudo de ondas: a interferência.

A interferência sonora é o que ocorre quando duas ou mais ondas sonoras se superpõem. O resultado dessa superposição pode ser uma interferência construtiva, quando as ondas combinadas produzem uma onda de amplitude maior,

dada pela soma das amplitudes de todas as ondas envolvidas, ou uma interferência destrutiva, quando a onda resultante da superposição tem amplitude menor, caracterizada pela subtração das amplitudes das ondas que se combinam [3].

Em nossa proposta de atividade em sala de aula vamos nos ater a dois exemplos de interferência entre ondas sonoras. São eles: uma interferência construtiva e uma destrutiva, ambas entre ondas idênticas.

Para produzir uma interferência completamente construtiva, o professor pode gerar no Audacity duas ondas idênticas, com amplitudes de 0,5, por exemplo, como mostrado pelas linhas vermelhas na Fig. 9. Agora, utilizando-se do botão silenciar, o professor silencia uma das ondas e reproduz a outra. Em seguida ele retira o silenciamento e reproduz as ondas simultaneamente. Essa demonstração evidenciará a sensação causada pela interferência das ondas sonoras. Será notado que ao reproduzir as duas ondas simultaneamente o som ficará mais forte (mais intenso), porém a frequência continuará a mesma. Para demonstrar isso o professor pode recorrer ao menu “Faixas” do Audacity e selecionar a opção mostrada na Fig. 10. Como destaca a linha vermelha na última onda representada nessa figura, a combinação das duas ondas iniciais gera uma nova onda de mesma frequência, mas com o dobro da amplitude de cada uma delas. Isso acontece porque as ondas que se interferem são idênticas. Geralmente, quando há interferência construtiva dizemos que as ondas estão em fase.

Outro exemplo que pode ser mostrado em sala de aula é a interferência destrutiva de ondas idênticas. Novamente o professor pode produzir duas ondas

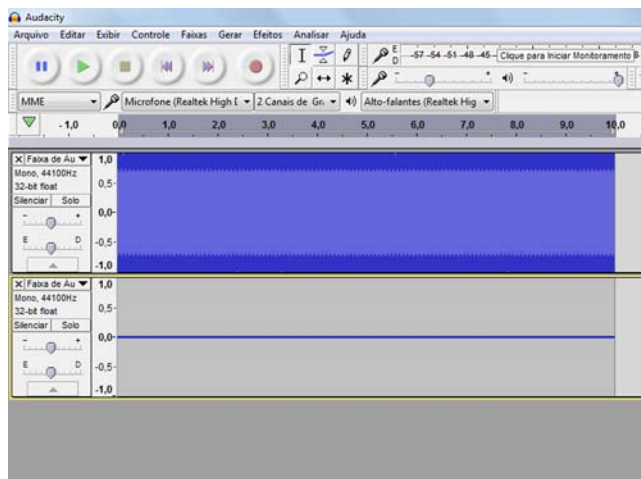


Figura 8: Representação gráfica de duas ondas com frequência de 80 Hz e amplitude 1 (superior) e frequência de 600 Hz e amplitude 0,01 (inferior) no Audacity.

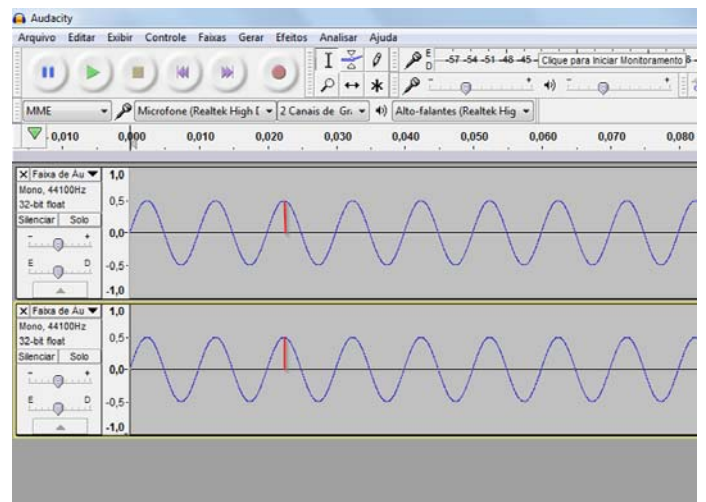


Figura 9: Representação gráfica de duas ondas idênticas em fase no Audacity.

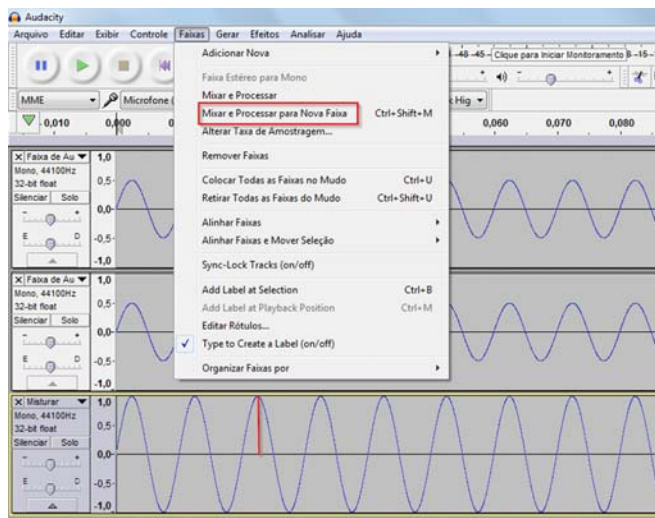


Figura 10: Representação gráfica da interferência de duas ondas idênticas em fase no Audacity.

idênticas como na Fig. 9, mas com amplitudes iguais a 1, que facilitará o que vem a seguir. Usando a ferramenta “Mover” do Audacity indicada pela seta na Fig. 11, o professor será capaz de mover uma das ondas até que elas fiquem posicionadas como se fossem reflexos no espelho uma da outra. O que queremos aqui é que um ponto de máxima amplitude (crista) de uma das ondas coincida com o ponto de mínima amplitude (vale) da outra, como destacado na Fig. 11. Agora, executando cada uma dessas ondas separadamente, poderá ser notado que o fato de mover uma delas não altera em nada sua frequência. Os sons emitidos por elas ainda são idênticos. No entanto, quando o professor reproduzir simultaneamente essas ondas algo interessante será emitido pelo aparelho de som: o silêncio. Isso mesmo, a combinação dessas duas ondas vai gerar uma onda de amplitude nula, ou seja, nenhum som. Para evidenciar isso o

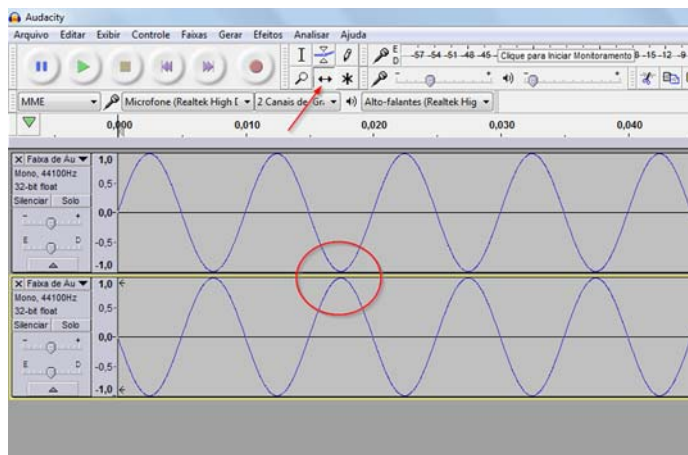


Figura 11: Representação gráfica de duas ondas idênticas em fases opostas no Audacity.

professor pode recorrer ao menu “Faixas” e usar a opção destacada na Fig. 10. O resultado é mostrado na Fig. 12 e as setas vermelhas evidenciam que as amplitudes se cancelam a todo instante, produzindo uma onda sem intensidade. Dizemos que essas ondas estão em fases opostas.

É importante salientar que a interferência sonora é responsável por vários outros efeitos, que envolvem a superposição de ondas com frequências e amplitudes diferentes. Por exemplo, a onda que caracteriza a corda Lá de um violão na Fig. 1 é resultado da superposição de várias frequências de vibração dessa corda. O batimento de ondas sonoras característico da combinação de ondas com frequências muito próximas também é outro exemplo. Este, inclusive, pode ser reproduzido no Audacity com facilidade. Tente isso!

Atividade 4: Fenômeno de ressonância - vibrando a água em um recipiente de vidro

Quando um sistema físico é posto a vibrar, ele o faz de uma maneira muito peculiar com uma frequência conhecida como frequência natural. Há sistemas físicos que possuem mais de uma frequência natural de oscilação; é o caso, por exemplo, das cordas de um violão. Quando uma única corda de um violão é tocada,

ela vibra não em uma única frequência, mas sim em um conjunto de frequências naturais. A mais baixa dessas frequências naturais caracteriza tal corda e é chamada frequência fundamental. Por outro lado, alguns sistemas físicos possuem uma única frequência natural, como por exemplo o pêndulo de um relógio. Quando um pêndulo desses é colocado a oscilar, a frequência de sua oscilação é única e representa sua frequência natural.

Dito isso, podemos explorar o fenômeno da ressonância. Esse fenômeno ocorre quando um agente externo, por exemplo uma onda sonora, fornece energia a um sistema físico na mesma frequência que a frequência natural, ou uma das frequências naturais, desse sistema. Em virtude desse recebimento de energia, a amplitude de oscilação do sistema torna-se cada vez maior [3]. Para vermos um exemplo disso, vamos imaginar uma pessoa empurrando uma criança em um balanço. Se a pessoa que empurra (agente externo) faz isso de forma descompassada, o balanço atinge pouca altura com relação ao solo, em virtude de ora estar sendo empurrado, ora estar sendo freado. No entanto, se o balanço (sistema) sofre empurrões bem compassados, ele sobe mais e mais, pois os empurrões são tais que proporcionam o alcance de uma altura cada vez maior.

Em mais um exemplo do fenômeno de ressonância, temos uma história muito conhecida sobre a possibilidade de se quebrar uma taça de vidro utilizando somente a voz. A taça de vidro possui uma frequência natural de vibração que pode ser encontrada dando uma leve batida na taça, ou ainda passando o dedo umedecido na borda da taça vazia, fazendo movimentos circulares. Esse som é referente à

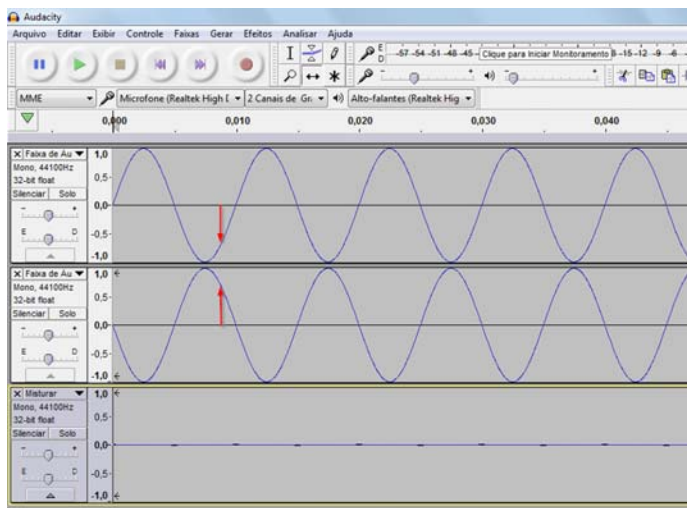


Figura 12: Representação gráfica da interferência de duas ondas em fases opostas no Audacity.

vibração das suas paredes de vidro. Assim, ao se produzir um som com a mesma frequência da frequência natural de vibração da taça, a intensidade das oscilações de suas paredes cresce, dando origem a oscilações com uma amplitude suficientemente elevada que pode ser capaz de fazer a taça se estilhaçar.

Nessa atividade, vamos exemplificar o fenômeno da ressonância observando como a água contida em um recipiente de vidro começa a vibrar quando o som emitido por um aparelho de som entra em ressonância com o recipiente em que ela está.

A experiência de quebrar a taça pode também ser realizada. Para isso, no entanto, deve-se possuir uma taça com paredes muito finas, geralmente de cristal, um aparelho de som capaz de emitir um som muito intenso e ainda um local apropriado. Como essas condições e materiais nem sempre estão à disposição, apresentamos aqui uma atividade similar que pode ser executada com um material de fácil acesso.

Para executar o experimento que propomos aqui em sala de aula, o professor deve primeiramente descobrir a frequência natural referente ao recipiente de vidro com água utilizado. Para isso, o professor deve simplesmente umedecer o dedo e passá-lo levemente na borda do recipiente. Este produzirá um som bem característico em uma determinada frequência. Para descobrir que frequência é essa, basta o professor utilizar o mesmo procedimento descrito na Atividade 1, gravando o som produzido e analisando a onda sonora gerada pelo Audacity.

Feito isso, o professor saberá qual a frequência da onda emitida pela vibração do recipiente de vidro. O próximo passo é gerar uma onda com as mesmas características daquela gravada. O leitor atento deve estar se perguntando por que não utilizar a própria gravação. Isso se deve pelo simples fato de que o microfone acaba por captar outros sons (sons ambientes), gerando ruídos na gravação. Ao utilizar o próprio gerador de áudio do programa, o som emitido será mais limpo e o professor terá maior chance de êxito na execução do experimento.

Uma vez gerada a onda de frequência correta no Audacity, basta o professor reproduzi-la com o aparelho de som próximo ao recipiente de vidro. Mesmo para um som pouco intenso, se a frequência estiver correta, os alunos serão capazes de visualizar que a água dentro do recipiente começa a vibrar, em resposta às oscilações das paredes de vidro, causadas pela ressonância destas com as ondas

sonoras emitidas pelo aparelho de som. Essa vibração da água pelas paredes de vidro em ressonância é claramente mostrada na Fig. 13.

Para salientar que não é para qualquer frequência que ocorre ressonância, e consequentemente vibração da água, o professor pode ainda realizar uma demonstração a mais.

Recorrendo-se ao recurso “Tom programável” do Audacity, no caminho destacado na Fig. 14, o professor poderá gerar um som com frequência variável, que cresce de um valor mínimo até um valor máximo, ambos especificados pelo professor na janela mostrada na Fig. 14. Então, uma vez que o professor já conhece a frequência de ressonância, ele deverá escolher valores de mínima e máxima frequência tais que a frequência de ressonância esteja entre eles. Em seguida, reproduzindo-se o som gerado, os alunos perceberão que inicialmente a água não vibra, mas à medida que a frequência aumenta a água começa a vibrar e atinge um máximo de agitação. Em seguida, à medida que a frequência continua crescendo, a água para de vibrar. Isso evidencia que existe uma frequência específica na qual ocorre a ressonância.

O experimento descrito anteriormente foi realizado pelos autores e o vídeo correspondente encontra-se disponível para



Figura 13: Vibração da água devido à ressonância das paredes de vidro com o som emitido pelo alto-falante. Experimento realizado em casa com equipamentos do dia a dia.

visualização na Ref. [4].

Atividade 5: Medida da frequência cardíaca

De forma análoga ao exame médico de eletrocardiograma, por meio do qual são feitas análises dos sinais elétricos advindos da atividade cardíaca, podemos utilizar o Audacity para analisar as ondas sonoras produzidas pelas batidas do coração.

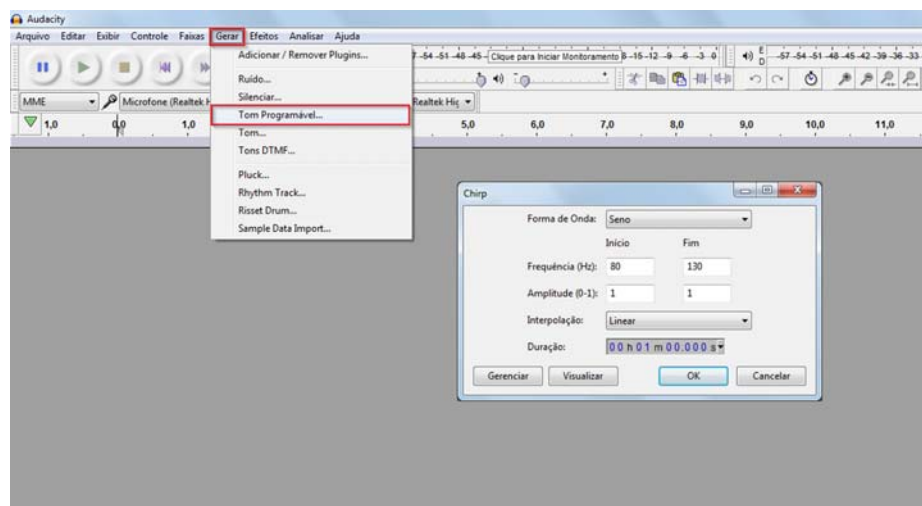


Figura 14: Geração de um tom programável no Audacity.

Os sons cardíacos são produzidos pelo impacto da circulação sanguínea nos vasos e nas estruturas cardíacas. De forma resumida, o som que ouvimos é referente à sístole (período de contração muscular) seguido pela diástole (período de relaxação muscular). O efeito causado pela superposição das duas ondas provoca os batimentos cardíacos que escutamos.

Nessa última atividade, propomos usar a ferramenta “Abrir...” do Audacity. Nela, o programa tem a capacidade de ler conteúdos de diversos formatos apenas importando-os do computador. Existe a possibilidade de o professor gravar o som dos batimentos cardíacos com um microfone, porém, devido à presença de ruídos nas gravações, os resultados apresentados não são tão satisfatórios como a alternativa apresentada a seguir.

Diversos sites dispõem de arquivos de áudio da atividade cardíaca com uma qualidade de som excelente. Tais arquivos podem ser utilizados para fins acadêmicos. De posse de um desses arquivos [5] (deve ser feita a descarga do arquivo de antemão), vamos até o menu “Arquivo”, selecionando a sequência de opções mostradas na Fig. 15. O programa então irá gerar a onda referente ao arquivo selecionado, como é mostrado na Fig. 16.

Nesse ponto, temos a onda de um batimento cardíaco, semelhante àquelas que vemos nos eletrocardiogramas. Novamente, analisando o comportamento dessa onda, de forma análoga ao que foi feito na Atividade 1, podemos selecionar um único ciclo para descobrir qual o período e, por consequência, a frequência da onda. Essa frequência será a quantidade de batimentos cardíacos por segundo. É comum expressarmos essa quantidade em bpm (batimentos por minuto) e, para tal, basta multiplicarmos o resultado por 60.

No exemplo em questão, para os valores indicados na Fig. 16 o resultado é uma frequência de aproximadamente 72 bpm. Esse valor está de acordo com o que é informado no site de origem do arquivo.

Considerações finais

Um dos principais fatores que impedem a utilização das tecnologias nas escolas, além da ausência dos equipamentos e da infraestrutura adequada, é a falta de conhecimento e domínio das ferramentas tecnológicas por parte dos professores.

Os diversos *softwares* disponíveis permitem ao professor contextualizar e simular uma variada gama de fenômenos físicos. Muito se fala sobre inserir computadores nas escolas, utilizar ferramentas tecnológicas no ensino, mas elas precisam vir junto com a preparação do

professor para utilizá-las. Por esse motivo procuramos, então, de forma detalhada orientar o professor na utilização de uma ferramenta que o auxilie em suas aulas, além de buscar fenômenos e situações presentes no cotidiano do aluno que possam motivar a aprendizagem do assunto abordado.

As atividades descritas neste trabalho possibilitam que o professor trabalhe de forma contextualizada os variados fenômenos relacionados às ondas sonoras, apresentando uma série de finalidades e orientações para a utilização do *software* Audacity. Essas atividades permitem trabalhar conceitos e fenômenos que muitas vezes não são contextualizados, como: intensidade e altura do som, interferência construtiva e interferência destrutiva e ressonância. Nesse sentido, o *software* Audacity permite ao aluno visualizar e experimentar esses conceitos e fenômenos que, sem a ajuda de um recurso adequado, seriam muito abstratos.

Referências

- [1] <http://www.audacityteam.org/download/>, acesso em 21 de setembro de 2017.
- [2] J.A. Valente, in: J.A. Valente (org.) *O Computador na Sociedade do Conhecimento* (UNICAMP/NIED, Campinas, 1999).
- [3] N.V. Bôas, R.H. Doca e G.J. Biscuola, *Física, Vol. 2* (Saraiva, São Paulo, 2010), 1ª ed.
- [4] Fenômeno de ressonância em uma jarra de vidro. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Em0C3CKYlnI>, acesso em 5/10/2017.
- [5] Sons de batimentos cardíacos, disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/Heart_sounds, acesso em 9/10/2017.

Saiba mais

L. Bleicher, M.M. da Silva, J.W. Ribeiro e M.G. Mesquita, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 129 (2002).

Percepções sonoras, link para leitura: http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2746/n/percepcoes_sonoras

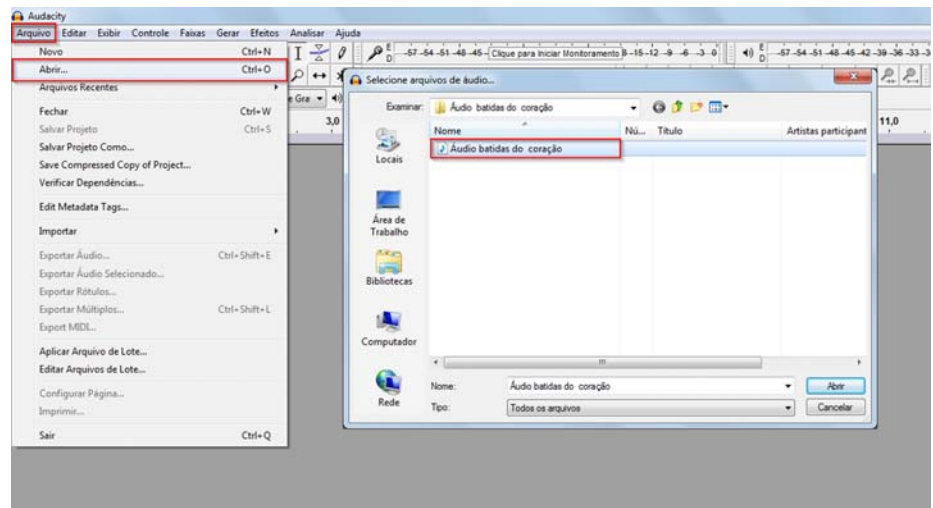


Figura 15: Abrindo um arquivo de áudio do computador no Audacity.

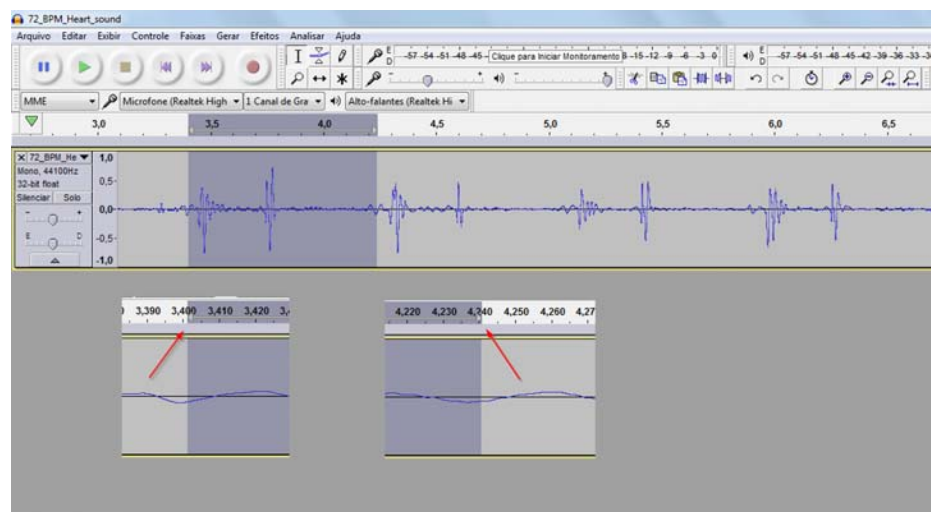
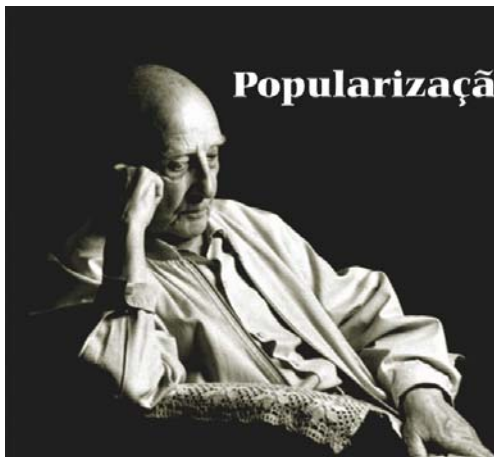


Figura 16: Representação da onda referente aos batimentos cardíacos.

Popularização da ciência e poesia em tempo de ditadura: O caso Rómulo de Carvalho



Arthur Galamba

School of Education Communication
and Society, King's College London,
Londres, Reino Unido

E-mail: arthur.galamba@kcl.ac.uk

Introdução

Rómulo de Carvalho (1906–1997) (Fig. 1) foi um reconhecido professor, historiador da ciência e da educação, e poeta. Em Portugal, várias homenagens têm sido realizadas para celebrar a memória desse multifacetado personagem da cultura nacional [1]. Carvalho viveu concomitantemente no mundo das ciências e no das artes de forma harmoniosa, e exerceu vigorosamente a difícil tarefa de ensinar ciência com o auxílio de sua história e de sua filosofia, uma vez que seu trabalho se destacou por contemplar esses dois domínios.

Sob o pseudônimo de António Gedeão, também escreveu poesia, muitas delas com uso constante de vocabulário científico e com a curiosa característica de ser uma poesia “didática”, ademais de também apresentar viés ideológico libertário. Como procurarei mostrar, o seu trabalho para a popularização da ciência tem sido aclamado como de enorme valor educacional e conseguiu, num período

pouco fértil para as carreiras científicas, influenciar gerações de jovens a seguirem carreiras de físicos, químicos, matemáticos e filósofos.

Eu espero que a apreciação, necessariamente crítica, do trabalho de Rómulo de Carvalho seja um reconhecimento da contribuição para o ensino de ciências em língua portuguesa, evento corriqueiramente reservado aos educadores dos mundos anglófono e francófono. Mas para entendermos melhor a significância histórica de seu trabalho, precisamos inicialmente revisar rapidamente o contexto político e social de sua época.

Educadores no Contexto Político Português nas décadas de 1950 e 1960

Rómulo de Carvalho foi professor do prestigioso *Liceu*, instituição de ensino secundário português, por 40 anos (1934–1974). Iniciou seu trabalho de divulgação científica e poesia num tempo em que Portugal era governado pela ditadura salazarista (1933–1974). Essa ditadura tinha fortes aspectos fascistas. A maior parte da população recebia a instrução mínima para ler, escrever e contar [2], temperada com a ideologia católica de resignação e subserviência [3]. A política alienante de Salazar também teve consequências muito negativas para a pesquisa científica e a educação de ciências físico-químicas naquele país, por meio de um verdadeiro trabalho de desarticulação de movimentos científicos.

De acordo com diversos historiadores, apesar de nas décadas de 1930 e 1940 a pesquisa científica em Portugal ter crescido substancialmente, essa atividade sofreu muito com o regime salazarista, sendo esse caracterizado como um “regime avesso à inteligência” [4, p. 8].

Nos primeiros anos do salazarismo, tal aversão à inteligência não era aparente. De acordo com Elsa Amaral [5], na década

O presente artigo oferece uma breve análise do trabalho do professor de física e química português Rómulo de Carvalho para a popularização da ciência na segunda metade do século XX. O meu objetivo é trazer para o conhecimento dos professores no Brasil um pouco da história do vasto trabalho humanista que esse educador desenvolveu durante os mais de 40 anos que dedicou ao ensino dessas áreas. Inicialmente, o artigo oferece uma visão do contexto político em Portugal no final do período salazarista, para em seguida examinar aspectos da poesia e dos livros de popularização da ciência de Rómulo de Carvalho. O artigo conclui com uma avaliação do trabalho humanista deste educador português e aponta razões pelas quais ele nunca ter sido perseguido pelo sistema autoritário e repressor de Salazar.

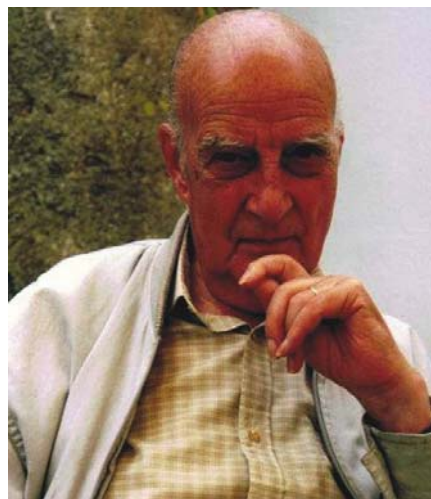


Figura 1: Rómulo de Carvalho, com quase 90 anos de idade, em sua casa, no Campo D'Ourique, Lisboa.

de 1930 diversos estudantes foram enviados para o exterior, com bolsa de estudos, e voltaram para Portugal cientes de que o conhecimento científico era “uma condição absolutamente essencial no desenvolvimento da economia, do bem-estar social da população e da independência do país” [5, p. 137]. Matemáticos, físicos e químicos fundaram núcleos e desenvolveram projetos de pesquisa, criaram revistas para publicação de trabalhos científicos, como as *Portugaliae Matemática*, em 1937, e a *Portugaliae Física*, em 1943. E com o objetivo de divulgar o conhecimento científico entre professores, estudantes e o público em geral, esses profissionais fundaram ainda a *Gazeta de Matemática* e a *Gazeta de Física* [5-8]. Rómulo de Carvalho foi co-fundador da *Gazeta de Física* e co-diretor dessa revista por muitos anos.

Entretanto, na década de 1940, Salazar iniciou um impiedoso trabalho de desmantelamento desse movimento científico e educacional, com ações extremas tais como professores “injustamente banidos das universidades portuguesas” [9, p. 7]. A razão para isso, conforme aponta Ilda Perez, foi que, durante o salazarismo, havia uma grande preocupação “de manter extremamente controlada e submissa, aos estreitos critérios da unicidade política, toda a atividade intelectual portuguesa” [8, p. 10]. A partir de 1943, o governo deixou de dar suporte financeiro às atividades científicas [8]. Combinadas, essas ações se consubstanciaram num golpe duro à comunidade científica.

Nessa época, diversos trabalhos humanistas e de resistência foram realizados contra o ideal repressor de Salazar. Muitos educadores, dentre eles António Sérgio e Bento de Jesus Caraça, destacaram-se nessa luta. Contrário ao ideal fascista de estratificação social, Sérgio, por exemplo, defendia “a anulação progressiva dos antagonismos sociais e a instauração da sociedade justa, pela Escola Única” [10, p. 69]. Ele e Caraça lutaram pela criação e pela disseminação de Universidades Populares, que objetivavam levar a todos o conhecimento que era reservado a poucos; trabalharam para levar para o ‘povo’ o conhecimento que lhes permitiria emancipar-se intelectual e socialmente. Eles fizeram parte de uma geração de intelectuais que via a educação como “o fundamento do processo de mudança social, econômica e política” [11, p. 503]. Não é por acaso que Caraça tem sido considerado “um símbolo da resistência” ao poder salazarista [12, p. 269]. De acordo com o próprio Rómulo de Carvalho, Caraça foi um verdadeiro “revolucionário” [13, p. 245].

Caraça fundou em 1941 uma coleção de livros chamada *Biblioteca Cosmos*, pela qual Carvalho publicou dois livros. O fio condutor ideológico dessa coleção era fazer chegar cultura àquelas pessoas com menos oportunidades educacionais. Como o próprio Caraça explicou, seu plano educacional objetivava “a criação de uma mentalidade livre” [14, p. 12].

O regime autoritário de Salazar teve consequências dramáticas para todos os que se opuseram publicamente contra seu ideal fascista paralisante. Assim como Sérgio e Caraça, uma grande quantidade de professores universitários e dos liceus foram demitidos, exilados ou presos. Provavelmente por causa dessas ações, Caraça terminou morrendo em 1948, com apenas 47 anos de idade.

Rómulo de Carvalho também trabalhou deliberadamente contra o ideal fascista do regime salazarista, incentivando também os cidadãos portugueses a terem, de alguma forma, uma compreensão do mundo mais ampla e independente, a refletirem sobre questões sociais e científicas, a pensarem por si, a se libertarem da alienação imposta. Entretanto, curiosamente, apesar de seu trabalho ter propósitos similares aos de Sérgio e Caraça, Carvalho nunca teve problemas com o regime. Carvalho revelou em seu livro *Memórias* que não era defensor do regime fascista de Salazar e possuía desde a sua juventude “inclinações comunistas” [13, p. 141]. Mas, conforme ele explicou em uma entrevista, ele nunca foi perseguido pelo regime fascista por ter sido “um animal político, embora sem intervenção pública” [15, p. 10]. De fato, durante o regime, Carvalho nunca publicou nenhum texto questionando a ideologia fascista nem sua estratégia educacional alienante. Ele provavelmente estava ciente das possíveis implicações políticas de seu trabalho, mas este não era um ato de heroísmo de alguém que estava tentando ‘salvar’ um país. Essa atitude nunca foi muito claramente explicada por ele, talvez por não querer justificar sua neutralidade, resumindo-se a dizer que só queria ser útil às pessoas [16, p. 15-16].

O regime autoritário de Salazar teve consequências dramáticas para todos os que se opuseram publicamente contra seu ideal fascista paralisante. Assim como Sérgio e Caraça, uma grande quantidade de professores universitários e dos liceus foram demitidos, exilados ou presos

Sem descartar as explicações acima, o que parece mais provável é que a popularização da ciência não era, por si só, uma questão problemática nos regimes fascistas. Na verdade, a popularização da ciência sempre segue uma agenda ideológica oculta, que pode ser usada para reafirmar a autoridade da ideologia hegemônica [17].

O que, em última análise, importava para os regimes fascistas era a forma como o conhecimento era comunicado [18, 19].

Como veremos, para além de difundir o conhecimento para as classes menos favorecidas, o trabalho de Rómulo de Carvalho

também incentivou o renascimento de uma atividade científica que havia sido desmantelada por Salazar anos antes. Primeiro veremos um pouco de sua obra poética, para depois analisarmos seu trabalho de divulgação.

Comunicando conhecimento através da poesia

A poesia de António Gedeão (pseudônimo literário de Rómulo de Carvalho) foi uma das maneiras que ele encontrou para compartilhar com todos os cidadãos sua visão humanista de mundo e, nesse sentido, encorajar as pessoas a pensar, a refletir sobre questões sociais e científicas. Destacarei uma, dentre muitas das facetas de sua poesia: a ideologia libertadora comunicada por ela.

De acordo com diversas fontes, e como confirmado pelo próprio poeta, a poesia de Gedeão possui duas grandes caracte-

rísticas que nos interessam: seu aspecto didático e sua propositada intenção de ser útil aos demais. Ser útil, para Gedeão, seria dar ao seu leitor a interpretação do nosso mundo social e científico. Carvalho acreditava que o poeta é alguém “atento

aos acontecimentos que o rodeiam, e envolvem, no ambiente social em que o poeta se movimenta” e que o texto poético constitui um “documento social” na medida em que eles “são sinais definidores de uma sociedade determinada” [20, p. VII]. E, portanto, comunicar essa interpretação fazia parte de sua utilidade.

O aspecto didático muito característico de sua obra poética era uma tentativa

Na década de 1940 Salazar - conhecido como o tirano de um regime avesso à inteligência, iniciou um trabalho de desmantelamento das instituições de ensino e pesquisa portuguesas, banindo sumariamente diversos professores das universidades portuguesas

deliberada de escrever para o seu “povo”. Guimarães [21] acredita que “poucos [autores] como ele tiveram a capacidade de tornar a linguagem poética tão facilmente comunicável” (p. 19). Sobre sua qualidade didática, alguns estudiosos de sua obra dizem que sua formação científica contribuiu para a sua “inteligibilidade, logo a clareza, a acessibilidade” [22, p. 61]. Essas características devem ter ajudado António Gedeão a atingir as pessoas, servindo-lhe (dentro outros propósitos) como ferramenta política.

Dentre dezenas de poesias, vou dar dois exemplos de sua qualidade didática, usando, como suporte, uma entrevista que ele concedeu em 1989, já citada acima. Nessa ocasião, o entrevistador lhe disse: “A sua poesia, aliás, de par de uma ironia e um humor singulares, dir-se-á que por vezes tem também alguma coisa de didático. Estou-me a lembrar, entre muitos exemplos, do *Poema do Coração*” [15, p. 10], mais recentemente publicado no livro *Poesia Completa* (Fig. 2).

Na ocasião dessa entrevista, Gedeão replicou ao entrevistador dizendo que “o humor é exatamente o humor necessário para tratar com adolescentes, que nas aulas é uma peça fundamental para a comunicação. E isso de didaticismo também é verdade. Veja um trecho de *Lição sobre a Água*” [15, p. 10] no apêndice.

Mas talvez, para os professores de física, o seu poema mais interessante seja o muito conhecido *Poema para Galileu*. Esse poema pode ser classificado como um texto pouco usual sobre a história da ciência, onde Gedeão agradece a Galileu pela nova compreensão de mundo, ao tempo em que debocha da autoridade ignorante daqueles

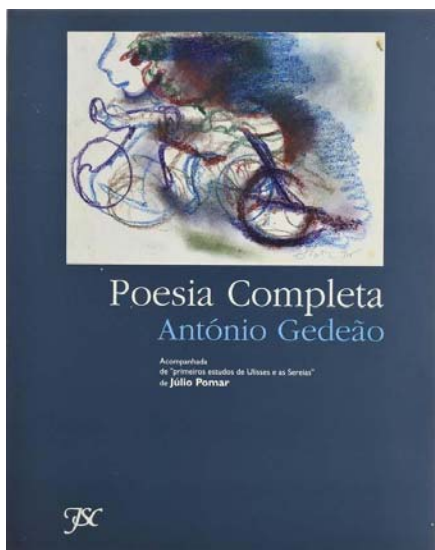


Figura 2: *Poesia Completa*, de António Gedeão.

Poema do Coração [43]

Eu queria que o Amor estivesse realmente
no coração,
e também a Bondade,
e a Sinceridade,
e tudo, e tudo o mais, tudo estivesse realmente no coração
Então poderia dizer-vos:
“Meus amados irmãos, falo-vos do coração”,
ou então:
“com o coração nas mãos”.
Mas o meu coração é como o dos compêndios
Tem duas válvulas (a tricúspide e a mitral)
e os seus compartimentos (duas aurículas e dois ventrículos).
O sangue a circular contrai-os e distende-os
segundo a obrigação das leis dos movimentos.
(...)
Então meninos!
Vamos à lição!
Em quantas partes se divide o coração?

que um dia o julgaram.¹ Veja um excerto dele no apêndice da próxima página.

Outros poemas, como *Lágrima de Preta*, *Pedra Filosofal*, *Campo de Concentração*, *Anti-Anne Frank*, entre muitos outros, dão maior atenção a questões sociais, questões sobre a existência e a natureza humana. A “utilidade” da poesia de Gedeão pode ser interpretada nesse contexto como útil para se compreender o nosso mundo, seja no campo científico, seja no social.

Essa característica tinha, de acordo com o próprio poeta, propósitos políticos, de forma a se opor ao sistema ‘medieval’ de Salazar. De fato, falando sobre o momento político em que sua poesia começou a ser publicada, na década de 1950, disse ele na entrevista já citada que “estava-se numa época de certa excitação política (...) e pareceu-me que os meus poemas podiam dar uma ajuda às esperanças de mudança e democracia da vida portuguesa” [15, p. 10]. Em outra entrevista, perguntou-se a Gedeão o que um poema “útil” significava. Ele respondeu nestes termos: “É normal as pessoas terem interrogações perante a vida. Ao lerem um poema

podem sentir-se mais fortes para continuar a luta”. “Politicamente?”, foi-lhe perguntado. “Com certeza, num sentido de ‘polis’. Tanto no mundo atual como no que me é conhecido através da história, tenho encontrado sempre um grande desequilíbrio nas relações entre as pessoas” [23, p. 101]. E, ainda sobre o significado de sua poesia dentro do contexto político em que vivia, ele acrescentou:

Uma poesia de combate pode não ter nada de ‘poético’, mas não deixa de ser poesia desde que satisfaça determinadas regras. Um combate sem as mãos crispadas estendidas para a pescoço do próximo, nem por isso deixa de ser combate [23, p. 104]

Muitos cientistas portugueses de hoje dizem que os poemas de Gedeão marcaram a sua juventude [24-26]. Rosa [24], professor catedrático de física, diz que “*Poema para Galileu* e *Pedra Filosofal* marcaram a minha geração, contribuindo para fazer preservar a esperança e fortaleza

Lição sobre Água [44]

Este líquido é água.
Quando pura
é inodora, insípida e incolor.
Reduzida a vapor, sob tensão e a alta temperatura,
move os êmbolos das máquinas que, por isso,
se denominam máquinas de vapor.
É um bom dissolvente.
Embora com exceções mas de um modo geral,
dissolve tudo bem, ácidos, bases e sais.
Congela a zero graus centesimais
e ferve a 100, quando a pressão normal. (...)

Poema para Galileo [43]

Estou olhando o teu retrato, meu velho pisano,
aquele teu retrato que toda a gente conhece,
em que a tua bela cabeça desabrocha e floresce
sobre um modesto cabeção de pano.
Aquele retrato da Galeria dos Ofícios da tua velha Florença.
(Não, não, Galileo! Eu não disse Santo Ofício. / Disse Galeria dos Ofícios.)
Aquele retrato da Galeria dos Ofícios da requintada Florença. (...)
Estava agora a lembrar-me, Galileo,
daquela cena em que tu estavas sentado num escabelo
e tinhas à tua frente
um friso de homens doutos, hirtos, de toga e de capelo
a olharem-te severamente.
Estavam todos a ralhar contigo,
que parecia impossível que um homem da tua idade
e da tua condição,
se tivesse tornado num perigo
para a Humanidade/ e para a Civilização.
Tu, embaraçado e comprometido, em silêncio mordiscavas os lábios,
e percorrias, cheio de piedade,
os rostos impenetráveis daquela fila de sábios....

lecer a lutar por um futuro melhor” (p. 22). Há muitas outras declarações nesse mesmo sentido espalhados em testemunhos daqueles que o conheceram ou leram sua obra [1].

A coleção *Ciência para Gente Nova*

Rómulo de Carvalho começou a publicar livros de divulgação científica ainda no final da década de 1940, sendo dois deles pela *Biblioteca Cosmos* [27, 28], dirigida por Bento de Jesus Caraça. O físico Rui Namorado Rosa disse também que naquele tempo havia uma escassez muito grande de livros desse gênero e Carvalho trabalhou deliberadamente para preencher essa lacuna [29]. E, similarmente à sua poesia, Carvalho repetidamente disse em entrevistas que sua obra para a popularização da ciência tinha como objetivo ser “útil aos outros, particularmente aos jovens” [30, p. 25].

A coleção *Ciência para Gente Nova*,² idealizada e organizada pelo próprio Carvalho, publicou livros entre 1952 e 1962. Carvalho era um grande apaixonado por história e idealizou essa coleção de forma que fosse “apoiada na evolução histórica dos acontecimentos que conduziram a humanidade ao estado actual em que a ciência e a técnica dominam” [13, p. 234]. O seu objetivo prático, conforme é explicado no prefácio do primeiro livro, era “preencher a falta de leituras educativas e instrutivas da gente nova” [31, p. 3].

Não seria fácil conseguir autores que atendessem às exigências da coleção. Terminou assim que dos nove livros publicados na coleção, Carvalho foi autor

de oito. Os títulos dos livros dizem muito sobre o desejo de Carvalho em transmitir aos estudantes, de forma significativa, conhecimentos sobre a história da ciência:

História da Fotografia, *História do Telefone* (Fig. 3), *História dos Balões* (Fig. 4), *História da Electricidade Estática*, *História do Átomo*, *História da Radioactividade*, *História da Energia Nuclear* e *História dos Isótopos* (Fig. 5). Esses livros foram bem aceitos pelo público. De acordo com as informações fornecidas por Carvalho em seu livro *Memórias*, essa coleção deve ter vendido nas décadas de 1950 e 1960 cerca de 45.000 exemplares em Portugal [13, p. 234], sendo um deles, *História dos Balões*, mais recentemente reeditado [32].

Deve-se notar que a linguagem utilizada por Carvalho nessas publicações e a forma como descreve os acontecimentos não nos permite classificá-las como livros de história da ciência, mas sim de popularização da ciência com abordagem histórica. Comumente, nesses textos, Carvalho viaja no tempo a fim de fazer o leitor ‘(re)experimentar’ a vida ou o suposto momento vivido pelo cientista tempos atrás. Era seu objetivo fazer os jovens admirarem a ciência e aqueles que a construíram, a refletirem que nosso mundo de hoje é o resultado do trabalho dos homens. E procurou fazer isso de forma entusiasmante, a exemplo do excerto abaixo, retirado do primeiro livro da coleção:

Depois de tudo montado, Bell debruçou-se sobre o transmissor para fazer mais uma tentativa e disse defronte da

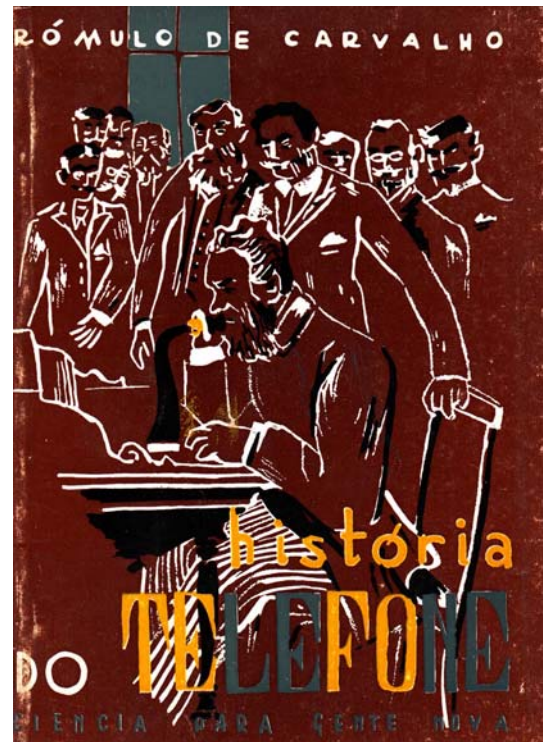


Figura 3: *História do Telefone*, publicado em 1952, pela coleção *Ciência para Gente Nova*.

membrana: *Do you understand what y say (sic)?* (Compreende o que estou a dizer?). Então, uma voz do outro mundo, fantástica, arrepiante, trémula de comoção, que parecia sair da mola do relógio, respondeu: *Yes, I under-*

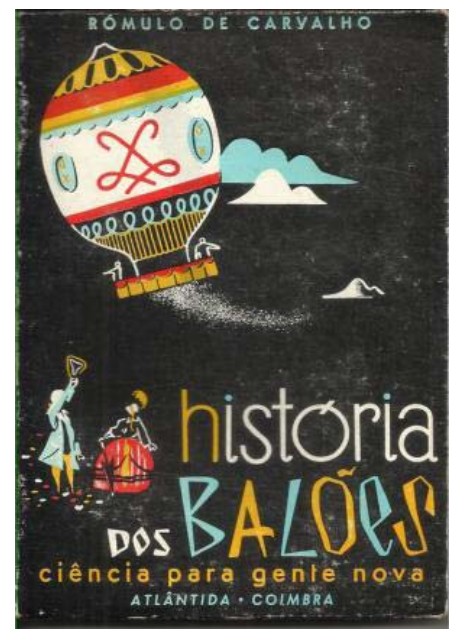


Figura 4: *História dos Balões*, publicado em 1953, pela coleção *Ciência para Gente Nova*.

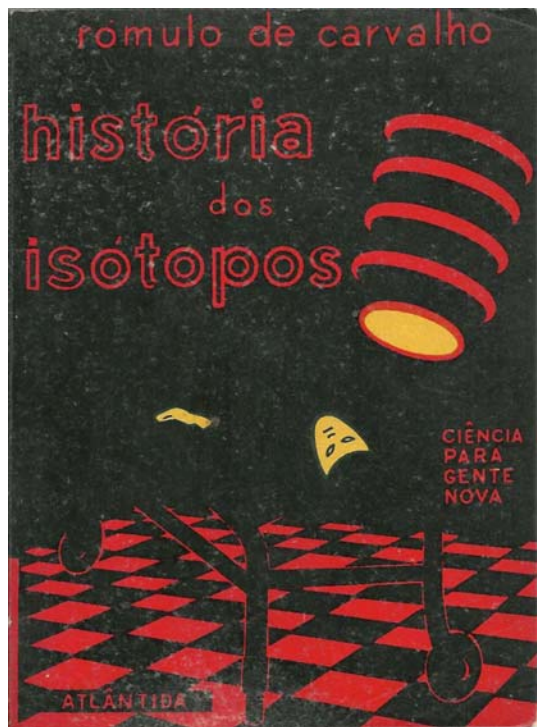


Figura 5: *História dos Isótopos*, publicado em 1962, pela coleção *Ciência para Gente Nova*..

stand you perfectly! (Compreendendo perfeitamente!) [31, p. 76].

Apesar da provável fantasia criada na descrição de situações vividas pelos cientistas, esses livros são referenciados a fontes primárias e secundárias e descrevem de forma detalhada o desdobramento de descobertas científicas. Além do mais, é de se notar que Carvalho apresentava uma constante preocupação de mostrar ao leitor que fazer ciência era algo para todos, desde que dedicação, determinação e persistência fossem utilizados. De fato, Carvalho enfatizava que “Na Ciência, como em tudo o mais, só se conseguem resultados de elevado nível com aturada persistência” [33, p. 34]. No mesmo sentido, o físico português Carlos Fiolhais disse que livros como *História da Energia Nuclear* foram muito importantes por mostrarem que a ciência moderna “é feita de construção, de curiosidade e esforço de homens e mulheres reais” [34, p. 15]. Em outra ocasião, o mesmo autor disse que esses livros revelaram a ciência com “tal frescura e elegância que teve de deixar marca maior” e, notadamente, acrescentou: “Com eles, ficamos a gostar de ciências” [35, p. 21].

Para além de seu conteúdo, talvez a principal característica desses livros seja a capacidade de Rómulo de Carvalho de se comunicar com seu leitor. Analistas de sua obra têm destacado deveras a simpli-

cidade e clareza com que Carvalho escrevia. A sua “clareza de exposição”³ é talvez sua marca principal.

Os livros da coleção *Ciência para Gente Nova* apareceram, conforme indicado anteriormente, num momento de muita repressão em Portugal, com o fechamento de universidades populares, demissão e exílio de professores universitários. Na opinião de Regina Gouveia, que trabalhou com Carvalho na década de 1970, ele escreveu esses livros talvez por “acreditar que o saber é um dos principais caminhos da cidadania e liberdade” [36, p. 127]. Um outro estudo recente [37] destaca a originalidade de seus livros, que abordavam temas fora do currículo escolar. E acrescenta, infelizmente, que “até hoje, nenhum amplo projecto similar veio a lume” [37, p. 39].

A passagem abaixo foi escrita por um filósofo e escritor que costumava trocar cartas com Carvalho. Em poucas linhas, esse filósofo oferece uma avaliação das qualidades comunicativas de Carvalho, além de sua importância educativa para o momento político vivido em Portugal. No que diz respeito aos livros da coleção *Ciência para Gente Nova*, disse:

...acho-os admiráveis pela clareza de exposição e simplicidade da linguagem e com a nítida vantagem sobre as descuidadas traduções de livros congêneres estrangeiros que por aí aparecem. (...) Vivemos num compartimento estanco e não acompanhamos, nem compreendemos o avanço acelerado e desconcertante que se processa actualmente nos povos civilizados.⁴

Se não pelo importante trabalho cívico dessa coleção, esses livros incentivaram o nascimento de uma geração de cientistas num tempo pouco frutífero para a pesquisa em Portugal. Artur Marques da Costa, ex-aluno de Carvalho e também professor de Física, disse que essa coleção “encaminhou muitos jovens estudantes para o mundo das partículas nucleares, da estrutura da matéria e das radiações” [38, p. 10]. Acredita-se que esses mesmos livros ainda hoje possuem grande poder educacional. Por exemplo, António Manuel Nunes dos

Santos, professor catedrático de história e filosofia da ciência da Universidade Nova de Lisboa, disse que tais livros “direta ou indiretamente seduziram muitos de nós a seguir carreiras científicas e podem ter hoje em dia grande impacto do público jovem” [39, p. 18].

Comentários finais

Rómulo de Carvalho é provavelmente o professor de física e química do ensino secundário de maior reconhecimento e de maior e mais diversa produção pedagógica do mundo lusófono. Muito além da coleção *Ciência para Gente Nova*, Carvalho produziu, desde o começo da década de 1940 até meados da década de 1980, um vasto número de artigos e livros para a popularização da ciência. Escreveu, ainda, diversos artigos pedagógicos, livros didáticos e um programa revolucionário (e mesmo vanguardista) de química na década de 1940 com fortes aspectos humanistas, preocupado com a idade dos alunos, a contextualização, a história e a filosofia da ciência e com conteúdo de relevância para o cotidiano [40].

Todos os poemas que foram citados acima e tantos outros estão hoje em dia facilmente acessíveis na Internet, na íntegra. Acredito que a sua utilização em aulas de ciências serve, no mínimo, para uma boa discussão sobre a veracidade da suposta separação entre as ciências e as artes, conforme já foi um dia ingenuamente sugerida [41]. Pelo valor político e educacional, pela oportunidade de se apreciar um cruzamento de saberes, a poesia de António Gedeão, escrita em língua portuguesa, poderia ser mais explorada em nossas aulas de física no Brasil.

Acredito que há pelo menos três importantes aspectos no trabalho para a popularização da ciência de Rómulo de Carvalho que merecem destaque. A primeira diz respeito ao valor transformador de obras sobre história e filosofia da ciência cuidadosamente escritas para os jovens. Estimular os jovens a lerem obras como

Rómulo de Carvalho é provavelmente o professor de física e química do ensino secundário de maior reconhecimento e de maior e mais diversa produção pedagógica do mundo lusófono

as de Carvalho deve ser uma prática constante dos professores. Essas obras influenciaram muitos a seguirem carreiras científicas e podem fazer o mesmo hoje. A segunda mensagem diz respeito à

possibilidade de produção de obras de divulgação científica de alta qualidade por autores de língua portuguesa e não nos limitarmos às traduções de livros congêneres estrangeiros. Portanto, para além da apreciação e utilização de obras estran-

geiras, traduzidas, devemos estar atentos à nossa produção científica e literária e lembrar que incentivar uma maior produção local no âmbito da história e filosofia da ciência é possível e bem-vinda. A terceira e última, já mencionada há pouco, diz respeito à suposta e infeliz separação entre as ciências e as artes. Carvalho/Gedeão é um exemplo próximo de que é possível ser um só nesses dois mundos da cultura humana.

Esse último aspecto, o da unicidade cultural dos ‘mundos’ das ciências e das artes, está intimamente relacionado a qualquer exercício pedagógico que busca

Obviamente, Carvalho não foi um ‘fruto’ da ditadura, mas uma rosa que conseguiu brotar no solo seco e infértil criado pelo árido e repressor sistema ditatorial salazarista

explorar as diversas relações que a ciência possui com qualquer atividade humana, seja ela no âmbito sociológico, econômico, ético, filosófico e mesmo artístico (música, artes plásticas, dança, poesia etc.). A educação de ciências no nível da escola secundária deveria enriquecer a visão de mundo dos estudantes, dando-lhes diferentes “filtros” facilitadores de análise e compreensão. A ciência é apenas um dos vários filtros existentes. Rómulo de Carvalho estava bem ciente disso [42].

Finalmente, não se pode deixar de avaliar a obra de Carvalho dentro de um contexto político-social que Portugal

vivia no tempo de Salazar. Do ponto de vista das artes e das ciências, a ditadura fascista salazarista causou danos gravíssimos a Portugal. Salazar desmantelou projetos educacionais que pretendiam transformar e modernizar a sociedade portuguesa, que já teria amargurado um período iluminista apenas modesto em relação a outras nações europeias [2, 3]. Apesar de não ter se manifestado publicamente como Caraça e outros, a obra de Carvalho foi uma obra antifascista, libertadora, que promovia a emancipação intelectual de todos os que tiveram acesso às suas obras. Obviamente, Carvalho não foi um ‘fruto’ da ditadura, mas uma rosa que conseguiu brotar no solo seco e infértil criado pelo árido e repressor sistema ditatorial salazarista.

Referências

- [1] A. Galamba. *The Contribution of Rómulo de Carvalho to Portuguese Science Education (1934–1974): A Humanistic Project?* Tese de Doutoramento, University of Leeds, Reino Unido (2013).
- [2] M.F. Mónica, *Educação e Sociedade no Portugal de Salazar* (Editorial Presença / Gabinete de Investigações Sociais, Lisboa, 1978).
- [3] R. d. Carvalho, *História do Ensino em Portugal – Desde a Fundação da Nacionalidade Até o Fim do Regime de Salazar-Caetano* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986).
- [4] G. d. Oliveira, in: *Movimento Matemático 1937–1947*, J.M. Mascarenhas e I. Perez (eds) (BMRR, Lisboa, 1997), p. 8.
- [5] E. Amaral, in: IX Congreso Dr. António Monteiro – Centenario del Nacimiento de António Monteiro, 30 de Maio a 1 de Junho, Bahia Blanca, Argentina (2007).
- [6] A. Fitas and A. Videira, *Physics in Perspective* **9**, 4 (2007).
- [7] J. Gaspar, *Gazeta de Física* **30**, 12 (2007).
- [8] I. Perez, in: *Movimento Matemático*, J.M. Mascarenhas e I. Perez (eds) (BMRR, Lisboa, 1997), p. 9-24.
- [9] J. Soares, in: *Movimento Matemático 1937–1947*, J.M. Mascarenhas e I. Perez (eds) (BMRR, Lisboa, 1997), p. 7.
- [10] R. Fernandes, *A Pedagogia Portuguesa Contemporânea* (Instituto de Cultura Portuguesa, Amadora, 1979).
- [11] A. Nóvoa, *Prospects: The Quarterly Review of Education* **24**, 501 (1994).
- [12] A. Nóvoa, *Dicionário de Educadores Portugueses* (Asa, Lisboa, 2003).
- [13] R. d. Carvalho, *Memórias* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2010).
- [14] B. d. J. Caraça, in: *Panorama de Ciência Contemporânea, Coleção Cosmos-Gigante (Vol. I)*, B. d. J. Caraça (ed) (Cosmos, Lisboa, 1947), p. 3.
- [15] J.C. d. Vascelos, *Jornal das Letras* p. 8 (1989).
- [16] M.L. Nunes, *Jornal das Letras/Educação*, p. 15 (1996).
- [17] K. Gavroglu, *HOST* **6**, 85 (2012).
- [18] A. Galamba, *Science & Education* **22**, 2659 (2013).
- [19] C. Tabernerero, I. Jiménez-Lucena and J. Molero-Mesa, *HOST* **6**, 64 (2012).
- [20] R. d. Carvalho, *O Texto Poético como Documento Social* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1995).
- [21] F. Guimarães, *Jornal das Letras/Educação* p. 19 (1996).
- [22] N. Nunes, in: *Pedra Filosofal: Rómulo de Carvalho e António Gedeão*, L. Corte-Real e M. Lourenço (eds) (Museu de Ciência da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2001), p. 59-61.
- [23] R. Rocha, *Expresso*, p. 100 (01994).
- [24] R.N. Rosa, *Jornal das Letras/Educação*, p. 22 (1996).
- [25] G.D.O. Martins, in: *Pedra Filosofal: Rómulo de Carvalho / António Gedeão*, L. Corte-Real e M. Lourenço (eds) (Museu de Ciência da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2001), p. 51-53.
- [26] J.M. Gago, *Jornal das Letras/Educação* p. 22 (1996).
- [27] R. d. Carvalho, *A Ciência Hermética* (Cosmos, Lisboa, 1947).
- [28] R. d. Carvalho, *Embalsamamento Egípcio* (Cosmos, Lisboa, 1948).
- [29] R.N. Rosa, *Vértice* **104**, 81 (2002).
- [30] F. Naves, *Diário de Notícias*, p. 24 (1996).
- [31] R. d. Carvalho, *História do Telefone* (Atlântida, Coimbra, 1952).
- [32] R. d. Carvalho, *História dos Balões* (Relógio d’Água, Lisboa, 1991).
- [33] R. d. Carvalho, *História dos Isótopos* (Atlântida, Coimbra, 1962).
- [34] C. Fiolhais, *Gazeta de Física* **20**, 15 (1997).
- [35] C. Fiolhais, *Jornal das Letras/Educação*, p. 21 (1996).
- [36] R. Gouveia, in: *António Gedeão / Rómulo de Carvalho: Novos Poemas Para o Homem Novo*, C. Vieira e I.R. Novo (eds) (ISMAI, Castelo da Maia, 2006), p. 125-136.
- [37] L.D. Soares, in: M. Rêgo e F. Lopes (eds) *António é o Meu Nome – Rómulo de Carvalho* (Biblioteca Nacional, Lisboa, 2006), p. 37-47.
- [38] A.M. d. Costa, *Gazeta de Física* **20**, 10 (1997).
- [39] A.M.N. Santos, *Gazeta de Física* **20**, 18 (1997).
- [40] A. Galamba, *Science & Education* **22**, 1519 (2013).
- [41] C.P. Snow, *The Two Cultures* (Cambridge University Press, Cambridge, 2002).
- [42] R. d. Carvalho, *Palestra* **1**, 20 (1958).
- [43] A. Gedeão, *Linhas de Força* (Atlântida, Coimbra, 1967).
- [44] A. Gedeão, *Obra Completa* (Relógio d’Água, Lisboa, 2007), 2ª ed.

Notas

¹No portal de vídeos Youtube é possível ver o próprio Carvalho/Gedeão recitando esse poema, acessando a URL <https://www.youtube.com/watch?v=PJTU5KM3UG4>, acessado em Fevereiro de 2018.

²Outras obras de grande importância foram os livros *Física para o Povo* e *Que é a Física* e a coleção de *Cadernos de Iniciação Científica*.

³Carta de Mário Costa de Almeida para Carvalho em Janeiro de 1958. Biblioteca Nacional, Lisboa, Espólio 40, caixa 4, pasta “Correspondência de Professores”.

⁴Carta de Fernando Pinho de Almeida para Carvalho no dia 7 de Fevereiro de 1963. Biblioteca Nacional, Lisboa, Espólio 40, caixa 4, pasta “Correspondência de Professores”.



.....

Francisco Catelli

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática; Mestrado em Educação, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil

Gabriele Molon

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Escola Estadual Dr. Assis Mariani, Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil

Laurete Zanol Sauer

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil

.....

Introdução

Fenômenos ligados à pressão frequentemente são suscetíveis de provocar espanto e encantamento. Um exemplo, entre muitos outros que poderiam ser escolhidos, é o da água em ebulição à temperatura ambiente [1, 2]. Ao sermos expostos a esses fenômenos, somos confrontados com algo insólito e fora do senso comum. E se a física tem algo a dizer a respeito, então tem-se aí uma oportunidade preciosa de motivar os estudantes. O texto que segue tem essa intenção: a de provocar a curiosidade, o espanto, e depois, o senso crítico e a argumentação. O fenômeno “insólito” e que contraria o senso comum, apresentado aqui, foi sugerido no site Ponto Ciência¹ em 2013 por Helder de Figueiredo e Paula, e consiste em apresentar aos estudantes um balão de borracha, desses utilizados em festas de aniversário, inflado no interior de uma garrafa PET. Mas a abertura do balão não está tapada, e mesmo assim o balão permanece inflado. Como isso é possível?

Na versão proposta aqui, é sugerido o uso de garrafas de vidro, o que torna a atividade ainda mais enigmática e impressionante. O uso de garrafas PET, tal como é indicado no Ponto Ciência, tam-

bém é destacado, mas o é num segundo momento, com o intuito de explorar de forma visualmente conveniente o efeito da pressão atmosférica, a qual é um dos elementos chave da explicação aqui proposta.

O fenômeno “insólito” e que contraria o senso comum, consiste em apresentar aos estudantes um balão de borracha, desses utilizados em festas de aniversário, inflado no interior de uma garrafa PET. Mas a abertura do balão não está tapada, e mesmo assim o balão permanece inflado. Como isso é possível?

Exploração qualitativa do fenômeno

Veja a Fig. 1: o balão está inflado, e a entrada pela qual o ar foi introduzido permanece aberta! Os alunos ficam bastante intrigados, pelo menos durante algum tempo, até que alguém desconfia: é hora de revelar o “truque”. Claro, há um furo na garrafa (veja a terceira imagem da Fig. 1). Ao efetuar a demonstração, o professor infla o balão assoprando-o para dentro da garrafa, ao mesmo tempo em que coloca o dedo (polegar, na Fig. 1) sobre o orifício “O”, escondendo-o, mas sem tapá-lo. Uma vez o balão inflado, o orifício é tapado com o dedo; quem observa a demonstração dificilmente perceberá essa “manobra”. O professor apresenta o balão dentro da garrafa, inflado e aberto, aos alunos, como na primeira e segunda imagens da Fig. 1. E o balão, mesmo aberto, “não esvazia”!

Mas talvez a parte mais desafiadora seja a explanação física para este aparente paradoxo: considere a Fig. 2. A região “F” (fora, região externa da garrafa) está à pressão atmosférica ambiente. A região “I”, no interior do balão, está também à mesma pressão, a pressão atmosférica, visto que as duas regiões estão interligadas através da abertura do balão;² então,

$$p_F = p_I = p_{atm}.$$

Já o ar confinado na região “C”, entre a garrafa e a parte externa do balão, está a uma

pressão inferior à pressão atmosférica – considere que o orifício “O” está fechado. Isto pode ser constatado repetindo o experimento com uma garrafa de paredes flexíveis, como aquelas usadas para embalar água mineral sem gás, como sugerido por

¹ É possível manter um balão inflado, mas com a abertura pela qual o ar é introduzido, aberta? A resposta a esse desafio é apresentada de forma qualitativa, e os detalhes para a confecção do dispositivo são apresentados. Conceitos como pressão e equilíbrio de pressões são explorados.

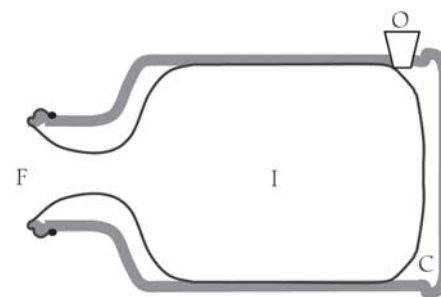


Figura 2: As regiões “F” (fora) e “I” (região interna do balão) estão à pressão ambiente. Já na região “C”, a pressão é ligeiramente menor que a pressão atmosférica. “O” representa o orifício feito na garrafa, que nessa figura aparece tapado.

devida à borracha distendida do balão, $p_{\text{balão}}$. Já o manômetro da direita, conectado ao orifício, indica uma pressão que corresponde aos mesmos dois traços, mas *menor* que a pressão atmosférica; esses dois traços (de uma escala arbitrária) representam a pressão p_i . É essa pressão menor que explica a “deformação para dentro” da garrafa PET da imagem inferior da Fig. 3. Para evitar mal entendidos, convém insistir: que $p_{\text{balão}}$ é a pressão devida à tensão da borracha das paredes do balão, a qual *não* é igual à pressão p_i da Fig. 2.

Conclusão

A diversão está garantida, primeiro ao presenciar, e depois ao “decifrar” a operação mecânica de tapar e destapar o orifício, o que esclarece o proce-

Figura 1: Na imagem superior e na inferior, à esquerda, o balão no interior da garrafa permanece inflado, entretanto, a abertura pela qual o ar foi introduzido permanece completamente aberta! Na imagem inferior, à direita, pode-se ver o orifício aberto na base da garrafa, o qual permite a execução do “truque”. Esse orifício está escondido abaixo do dedo polegar da mão que segura a garrafa, nas duas primeiras fotos.

Paula [3]. Ao realizar a demonstração, as paredes são deformadas “para dentro”. Essa pressão é inferior à da atmosfera, como pode ser visto na Fig. 3.

Cabe considerar, por fim, a pressão devida à borracha (tensionada) do balão inflado e aberto, $p_{\text{balão}}$ (veja novamente a Fig. 2). Para que o equilíbrio entre as pressões seja respeitado, deve-se levar em conta que a pressão na região I (p_i , igual à pressão atmosférica, p_{atm}) é equivalente ao valor numérico da pressão na região C (p_c) adicionado ao valor numérico da pressão devida exclusivamente à tensão da borracha do balão ($p_{\text{balão}}$). É importante reiterar que essa afirmação só vale quando o orifício “O” está tapado. Essa explicação pode ser melhor entendida a partir do argumento qualitativo, indicado no diagrama da Fig. 4: o manômetro à esquerda indica (esquemáticamente, de forma apenas qualitativa) dois traços acima da pressão atmosférica p_{atm} ; esses dois traços representam a pressão

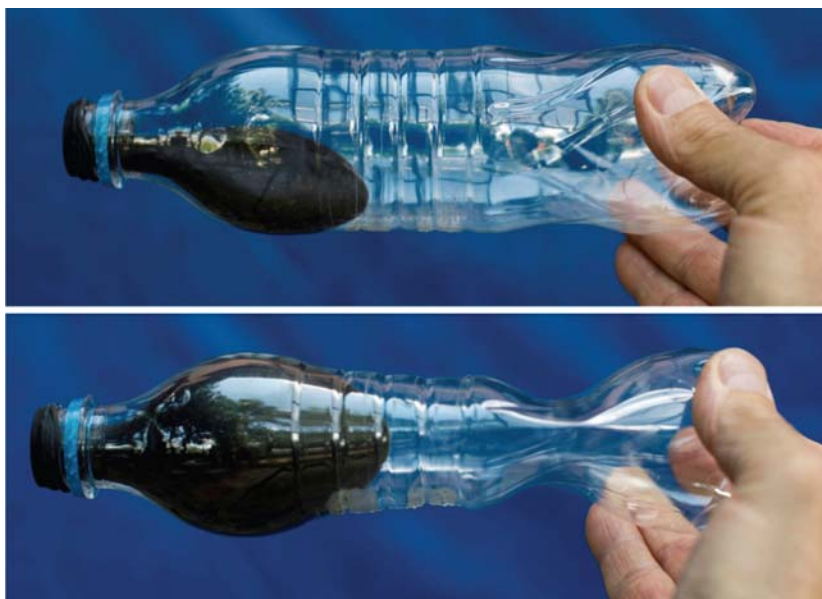


Figura 3: Na imagem superior, o balão está vazio; a garrafa plástica não está deformada. Na imagem inferior, a pressão p_c do ar confinado entre a parede interna da garrafa e a parte externa do balão (agora inflado) é inferior à pressão atmosférica p_i ; isto pode ser verificado pela deformação “para dentro” experimentada pela garrafa.

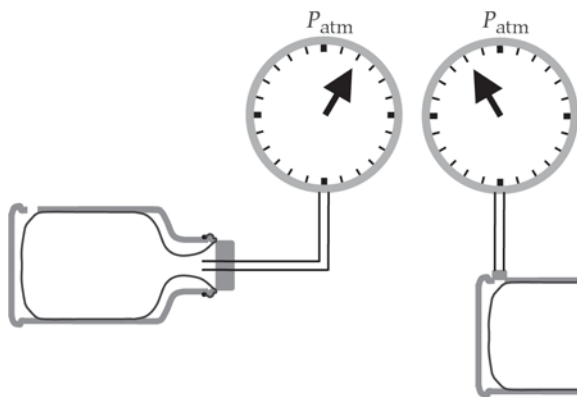


Figura 4: A pressão, medida pelo manômetro da figura à esquerda (a escala é arbitrária) é ligeiramente maior que a pressão atmosférica P_{atm} (note o orifício aberto na base da garrafa), ela equivale numericamente à pressão atmosférica mais a pressão devida à borracha tensionada do balão ($P_{atm} + P_{balão}$).³ Se o mesmo manômetro for conectado ao orifício da base da garrafa (figura da direita), ele indicará a mesma diferença em relação à pressão atmosférica, mas dessa vez para menos ($P_{atm} - P_{balão}$), e o balão se manterá “inflado”.

dimento para executar a demonstração. Mas a operação de “decifrar a charada” em termos dos princípios físicos envolvidos também é - a seu modo - divertida. Não se poderia menosprezar o prazer intelectual do processo de estruturar os princípios físicos envolvidos, até o ponto em que o paradoxo do balão “inflado” que assim permanece, mesmo com o orifício de entrada do ar aberto, seja desvendado. Sim, a física pode ser bastante divertida!

Apêndice 1: Como executar um orifício em uma garrafa de vidro?

Existem brocas especiais,⁴ de metal duro (“vídea”), no comércio especializado, projetadas para perfurar vidro. Uma maneira segura de executar o orifício é montar essa broca especial em uma ferramenta de baixa rotação (uma parafusadeira é ideal para essa operação, dada sua rotação naturalmente baixa) e manter a garrafa deitada e apoiada, completamente imersa em água. O nível de água é apenas suficiente para cobrir a garrafa deitada. A água extrairá rapidamente o calor da região do furo, evitando a formação de trincas. Use pouca força ao pressionar a broca contra o vidro; o processo de completar o furo é relativamente lento, e leva alguns minutos. Por segurança, proteja as mãos com luvas e os olhos com óculos. O ideal é pedir a ajuda de um vidreiro. Veja a Fig. A1 e sua legenda. Outra possibilidade é a de empregar uma garrafa PET. Essas garrafas podem ser perfuradas facilmente com brocas comuns, ou com um prego, preso por um alicate e aquecido na chama de um fogão [5]. Entretanto, os estudantes descobrem com maior rapidez o que se passa, visto que as paredes da garrafa deformam para dentro, como pode ser visto na Fig. 3. Essa é a principal vantagem de utilizar garrafas de vidro: não há deformação perceptível, e consequentemente, uma “pista” a menos para descobrir o que está se passando.

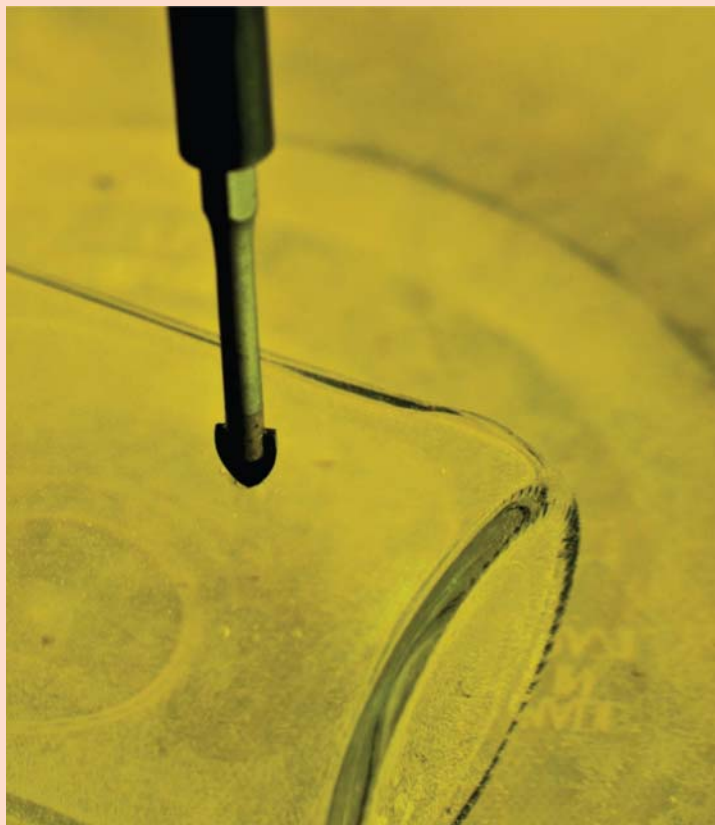


Figura A1: Imagem do início do procedimento de execução de um orifício numa garrafa de vidro. A água na qual a garrafa está imersa retira de forma mais eficiente o calor da região onde o orifício é executado, o que ajuda a prevenir trincas. A rotação da ferramenta deve ser lenta, e a pressão aplicada na broca, pequena. É aconselhável pedir a ajuda de um vidreiro para executar esta operação. A broca com ponta de metal duro, como a da foto, é facilmente encontrada em loja de ferragens, e é especialmente desenhada para perfurações em vidro.

Bibliografia

- [1] F. Catelli, R. Barbieri e V.B. Schneider, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **31**, 667 (2014).
[2] J. Zanetic, L.C. Menezes e Y. Hosoume (orgs), *Física 2 - GREF* (EDUSP, São Paulo, 2002).
[3] Helder de Figueiredo e Paula, *Balão Cheio de Ar, Mas Com a Boca Aberta*, Ponto Ciência, disponível em <http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/balao-cheio-de-ar-mas-com-a-boca-aberta/1194> (2013).
[4] B.A. Biffi e F. Catelli, A Física na Escola **8**(1), 45 (2007).
[5] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física - Vol. 2 - Gravitação, Ondas e Termodinâmica* (LTC, Rio de Janeiro, 2012).

Notas

¹Veja <http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/balao-cheio-de-ar-mas-com-a-boca-aberta/1194>.

²Um argumento semelhante foi empregado por Biffi e Catelli [4], ao explicar por que é difícil beber água de uma garrafa, sugando-a por intermédio de dois canudos, um deles com a extremidade inferior imersa na água, e o outro com sua extremidade inferior fora da água e da garrafa.

³A quantidade ($P_{atm} + P_{balão}$) é costumeiramente designada como “pressão absoluta”, ou pressão total. Já $P_{balão}$ é a “pressão manométrica” [5, p. 62].

⁴Veja, por exemplo, <http://pt.wikihow.com/Fazer-Furos-em-Vidro>.

BEF
BLUMENAU - SANTA CATARINA
V ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA
27 À 31 DE AGOSTO DE 2018

INSCRIÇÕES: EBEF.UFSC.BR
CONTATO: EBEF@CONTATO.UFSC.BR
LOCAL: UFSC - CAMPUS BLUMENAU

CONFERÊNCIA 1
NÚMEROS COMPLEXOS NA FÍSICA: EPISÓDIOS HISTÓRICOS E IMPLICAÇÕES DIDÁTICAS
PALESTRANTE: RICARDO A. S. KARAM (UNIVERSIDADE DE COPENHAGUE)

CONFERÊNCIA 2
ENSINO DE CIÊNCIAS NO SÉCULO XXI: RUMOS E POSSIBILIDADES COM O USO DE TICs
PALESTRANTE: DRA. ELIANE ANGELA VEIT (UFRGS)

RICARDO AVELAR SOTOMAIOR KARAM - UNIVERSITY OF COPENHAGEN
SÍLVIO ROBERTO DE AZEVEDO SALINAS - USP
MARCO ANTONIO MOREIRA - UFRS
ELIANE ANGELA VEIT - UFRS
NELSON STUDART - UFABC
DANIEL GIRARDI - UFSC

MINICURSO 1
PESQUISA APLICADA, DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E REDAÇÃO CIENTÍFICA.
PALESTRANTE: MARCO ANTONIO MOREIRA (UFRGS)

MINICURSO 2
METODOLOGIAS ALTERNATIVAS NO ENSINO DE FÍSICA
PALESTRANTES: NELSON STUDART (UFABC) E RICARDO A. S. KARAM (UNIVERSIDADE DE COPENHAGUE)

MINICURSO 3
INTRODUÇÃO A TERMODINÂMICA ESTATÍSTICA
PALESTRANTE: SÍLVIO ROBERTO DE AZEVEDO SALINAS (USP)

MINICURSO 4
FÍSICA NO CELULAR
PALESTRANTE: DANIEL GIRARDI (UFSC)

APÓIO: SBF (Sociedade Brasileira de Física), CAPES, FAPESC, MNPEF (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), UFSC Blumenau