

# a Física na Escola

v.17  
Outubro

n.2  
2019

## Discutindo a curvatura da Terra em sala de aula

**Azul do céu:  
Explicação &  
simulação**

**A física do jogo  
Super Mario World  
e a comparação  
com o mundo real**



**E mais:  
O fenômeno da fluorescência  
O martelo de Thor magnético  
Equivalente mecânico do calor**



# Carta dos Leitores

## Uma rosa é uma rosa - o poder do nome e a decoreba

.....

**Marcel Novaes**

Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil

.....

**A**s coisas caem por causa de uma força chamada “gravidade”. Uma colisão na qual a energia cinética se conserva é dita “elástica”. Reações “exotérmicas” liberam energia. Afirmarções como essas não dizem absolutamente nada sobre a natureza. São apenas definições, não passam de jargão, termos técnicos utilizados para facilitar a comunicação. Saber uma definição não é o mesmo que entender um fenômeno. No contexto escolar, dar ênfase às definições em detrimento do entendimento conceitual constitui a famosa “decoreba”.

Que o ensino brasileiro seja baseado na decoreba já é mais do que sabido. Até o Prêmio Nobel de física Richard Feynman observou esse fato. Esse estado de coisas é universalmente deplorado, todos se insurgem contra a decoreba, todos a abominam, ninguém levanta um fio de voz em sua defesa. Mas ela persiste.

Não sendo estudioso do processo de aprendizagem, quero apenas chamar atenção para a relação profunda que os seres humanos possuem com os nomes das coisas e com a possibilidade de nomeá-las. Acredito que essa relação, provavelmente enraizada em profundezas psicológicas, explique em parte a resiliência da decoreba e a dificuldade que todos sentem em lidar com ela.

Por exemplo, no Livro do Gênesis lemos que Deus criou o mundo por meio do verbo, que é um processo de nomeação: “E Deus chamou à luz Dia; e às trevas chamou Noite (...) E chamou Deus à porção seca Terra; e ao ajuntamento das águas chamou Mares; e viu Deus que era bom.”

Mais adiante, Adão, o primeiro homem, se relaciona com o mundo através de um processo de nomeação: “Havendo, pois, o Senhor Deus formado

da terra todo o animal do campo, e toda a ave dos céus, os trouxe a Adão, para este ver como lhes chamaria; e tudo o que Adão chamou a toda a alma vivente, isso foi o seu nome. E Adão pôs os nomes a todo o gado, e às aves dos céus, e a todo o animal do campo”.

Ao chamar o gado de gado e a ave de ave, Adão se aproxima deles, torna-os um pouco menos estranhos, um pouco menos alheios a ele mesmo. E, de certa forma, exerce sobre eles um pequeno poder. Afinal, a vaca e o pássaro não falam. Não podem decidir como Adão será chamado. É somente ele que escolhe como chamar às outras criaturas. É ele quem decide os nomes dos demais e, ao fazê-lo, impõe sobre eles certa medida de controle.

Ao afirmar, em Romeu e Julieta, que “uma rosa com outro nome teria igual perfume”, William Shakespeare relativizou a importância dos nomes. Está correto, objetivamente falando, mas subestima os fatores psicológicos associados ao tema. Por outro lado, o célebre verso de Gertrude Stein, “uma rosa é uma rosa é uma rosa”, reafirma a irredutibilidade da identidade, simbolizada sobretudo no nome.

Conta-se que parte importante de rituais de exorcismo é conseguir que um demônio revele seu verdadeiro nome porque, ao fazê-lo, ele perde força. O que era nebuloso, misterioso e perigoso acaba se revelando, se tornando claro, passível de compreensão e de controle. Em notável contraste, na religião judaica o nome de Deus jamais é pronunciado.

O ato de nomeação é um ato de revelação e de dominação. Quando dizemos que a razão por trás da queda dos corpos é a força da gravidade, estamos tentando colocar esse fenômeno sob nosso domínio (quando falamos em

---

E-mail: marcel.novaes@gmail.com.

curvatura do espaço-tempo, ampliamos esse domínio). De fato, matemáticos profissionais valorizam muito as definições, ao ponto de na matemática se considerar que “uma boa definição vale mais que mil demonstrações”.

Ao darmos nomes aos conceitos, nos

apropriamos deles e os revelamos. Delimitar uma questão, circunscrever um problema, isolar sua verdadeira natureza, é meio caminho para entendê-lo. Por isso sugiro que o conhecido fetiche da definição, a reconhecida dificuldade em erradicar a decoreba, não são coisas

superficiais e de solução fácil, pois têm ressonâncias ancestrais e afligem não só estudantes mas também, e talvez principalmente, os próprios professores.

# Carta dos Leitores

## O analfabeto científico (Texto inspirado em O Analfabeto Político de Bertolt Brecht)

Ciclamio L. Barreto

Departamento de Física, Universidade  
Federal do Rio Grande do Norte, Natal,  
RN, Brasil

O pior analfabeto é o analfabeto científico. Ele não se interessa pelas informações científicas.

Aliás, é do tipo que provavelmente nunca admirou um céu estrelado, nem faz a menor ideia do que seja um átomo ou uma galáxia.

Ele não concebe a ideia de que a luz tenha uma velocidade, ainda mais sendo finita.

A Segunda Lei da Termodinâmica, enunciada no século XIX e assunto cobrado no Enem, não faz parte do seu intelecto.

Jamais tenta elaborar uma explicação para um fato científico, até por não ter a mínima condição para isso.

Na escola, sempre dizia que a ciência de nada lhe serviria na vida, assim se justificando por nada aprender.

A ele pouco importa que a ciência seja a base de toda e qualquer tecnologia e nem sequer percebe esse fato espantoso.

Desdenha das explicações científicas para os fenômenos do dia a dia.

Ignora que prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças requerem conhecimento científico, sendo contrário às vacinas de modo completamente irracional.

Defende que a terra é plana, que não tem mais que 6 mil anos e que a lei da gravidade nada explica. Quiçá é do tipo que ainda tem certeza de que o Sol é o centro do Universo.

Tem uma atração irresistível por uma diversidade de tópicos das pseudo-ciências, da astrologia à cura quântica.

Declara-se fã irrestrito e incondicional da medicina alternativa e do criacionismo, quando não do espiritismo

científico.

Sempre que alguém lhe fala sobre a evolução biológica, responde que não passa de uma teoria, como se soubesse o que é uma teoria científica.

Sua “biologia” o conduz ao racismo biológico ou à psiquiatria biológica.

Sua ideia sobre a química é que se trata de um instrumento de disseminação do mal.

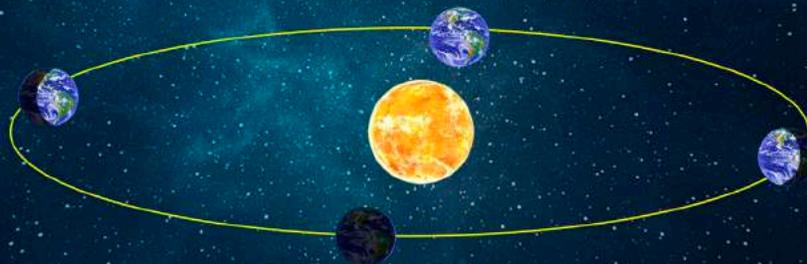
O analfabeto científico é tão carente de inteligência que se orgulha e estufa o peito dizendo que odeia a ciência e menospreza a educação.

Não sabe o imbecil que da sua ignorância científica nasce o subdesenvolvimento do país, a prostituta, o menor abandonado, o idoso violentado, o viciado em drogas, a desgraça do meio ambiente, os preconceitos de gênero, raça, condição social etc., as notícias falsas e o pior de todos os bandidos, que é o político vigarista, pilantra, cafajeste, corrupto e laçao de empresários nacionais inescrupulosos e de empresas multinacionais, cujas atividades levam ao esgotamento de recursos, e cujo maior interesse é a remessa de lucros ao exterior.

O analfabeto científico é como o analfabeto político: gente capaz de servidão voluntária, de eleger representantes anticiência, despreparados, subservientes aos poderosos; não passa de gente submissa aos aproveitadores oportunistas e, quem sabe, também, a veteranos impunes criminosos, eles próprios também analfabetos científicos.

Natal, Brasil, agosto de 2019

# Uma proposta de ensino das estações do ano com base na diversidade representacional



.....

**Daniel Trevisan Sanzovo\***

Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus de Jacarezinho, Colegiado de Matemática, Jacarezinho, Paraná, Brasil

**Carlos Eduardo Laburú**

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil

## RESUMO

*O presente trabalho sugere uma ferramenta metodológica para o ensino das estações do ano, elaborada em um estudo mais amplo, em nível de doutorado. A proposta utiliza o referencial metodológico da diversidade representacional, que indica o uso coordenado e integrado entre variadas formas de representar um mesmo conceito científico, variando entre verbal, gráfica, tabular, matemática, imagética, experimentais ou maquetes, de maneira que o aprendiz possa aprofundar a compreensão e refinar o conceito científico. Aliada à proposta, mostramos sugestões de referências sobre o assunto, orientando os professores sobre onde encontrar fontes confiáveis do assunto abordado. Além disso, ao ser aplicada na formação inicial de futuros professores de ciências, resultou em uma compreensão mais profunda a respeito das estações do ano. Sua utilização é indicada para qualquer nível de ensino, variando desde o fundamental, séries iniciais, até a formação continuada de professores e pós-graduação.*

**Palavras-chave:** ensino de astronomia; estações do ano; diversidade representacional

.....

## 1. Introdução

Estudos recentes apontam um aumento no interesse pela educação em astronomia, comprovado pelo crescente número de pesquisas publicadas em periódicos nacionais e internacionais desse ramo nas últimas décadas [1, 2]. Ao mesmo tempo, existem diversos problemas associados ao ensino da astronomia nas escolas.

A linha de pesquisa referente à formação de professores de ciências estuda tais dificuldades. Os professores de ciências, por serem em sua maioria pedagogos e biólogos (séries iniciais e finais do ensino fundamental, respectivamente), raramente tiveram conteúdos de astronomia em sua formação (inicial ou continuada). Além disso, grande parte dos profissionais formados desconhece, ou não tem consciência delas, as concepções alternativas usadas por eles e por seus alunos para explicar os fenômenos astronômicos [3-8].

Somando-se a esses fatores, tem-se que, apesar dos louváveis esforços das equipes de avaliação do Ministério da Educação (MEC), erros ainda estão presentes nos livros didáticos de ciências [9, 10], e eles contribuem para interpretações equivocadas dos fenômenos abordados. Por exemplo, a ilustração da órbita terrestre extremamente achatada em torno do Sol induz à concepção errônea da explicação das estações do ano devido à distância Terra-Sol, o que prejudica de maneira definitiva o aprendizado. Isso sem contar a existência de uma grande lacuna entre as contribuições de

pesquisas da área e as práticas docentes desenvolvidas nas escolas [11]. Com relação a essa temática, [12] destacam as variadas ações da comunidade da área voltadas para sua melhoria nos últimos anos, como, por exemplo, (i) obras de Rodolpho Caniato (e.g., [13, 14], gerados a partir de aplicações de oficinas para professores; (ii) ações da organização da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica – OBA, em quase 20 anos de olimpíadas; (iii) estratégias alternativas e práticas aplicadas para o ensino de astronomia [15]; (iv) o lúdico aplicado à astronomia [16]. Salientamos ainda (v) a criação da *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA)*, lançada em 2004, que disponibiliza um espaço de divulgação de trabalhos científicos na área; (vi) a criação e execução do Simpósio Nacional de Educação em Astronomia (SNEA), fórum nacional para debate de ideias, apresentação de trabalhos e estruturação da educação em astronomia (o primeiro foi realizado em 2011 e a partir de 2012 tornou-se bienal, estando prevista a reali-

zação de sua sexta edição em 2020), e (vii) a criação e a divulgação do site Banco de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia [17], dentre outras. O presente trabalho visa divulgar uma proposta de ensino do conteúdo das estações do ano pelo uso da diversidade representacional, que será apresentada a seguir.

### 1.1. Sobre diversidade representacional

A linha de pesquisa científica da

\*Autor de correspondência. E-mail: dsanzovo@uenp.edu.br.

multimodalidade representacional e dos referenciais das múltiplas representações concentra esforços para a compreensão dos significados dos conceitos científicos pelos estudantes. Tais conceitos podem ser representados utilizando-se um único modo (monomodal), como, por exemplo, o verbal textual, o verbal oral, imagens etc., assim como usando-se diversos modos combinados (multimodal).

O termo *representações multimodais* refere-se à integração de diferentes modos no discurso científico do raciocínio e de descobertas científicas. Faz alusão ao fato de que a aprendizagem com uma ou mais representações geralmente integra diversos elementos de várias modalidades, como símbolos, figuras e linguagem [18]. Radford e colaboradores compreendem multimodalidade como meios ou recursos cognitivos, físicos ou perceptivos [19] nos quais as diversas formas de representação podem ser expressas, pensadas, comunicadas ou executadas. Por sua vez, [20] entendem modalidade como diferentes maneiras de compartilhar um significado, em que “meios” são os materiais de expressão, o falar, desenhar ou modelar e “modalidades” os processos de pensamento e habilidades musculares usadas para moldar materiais “numa forma análoga a um conceito verbal” (ibid., p. 33, tradução nossa). Já o termo *múltiplas representações* designa a capacidade de se representar um mesmo conceito (ou processo) científico de diversas maneiras [18, 21].

Como não pretendemos esgotar as diferenças entre as referidas denominações, e como também o presente trabalho procura usar tanto a capacidade de se representar as estações do ano de diversas maneiras (múltiplas representações) quanto sua integração em diferentes modos no discurso científico, iremos considerá-las sinônimos, denominando *diversidade representacional* [22-24] as variadas classificações dos modos de representação.

Pesquisas afirmam que, para termos uma aprendizagem efetiva de ciências, não se pode prescindir de que os aprendizes trabalhem com uma diversidade representacional dos processos e conceitos científicos e sejam capazes de traduzi-los de uns para os outros, assim como entender seu uso coordenado e integrado na representação do conhecimento científico [25]. As diferentes classificações das formas de representação que têm sido propostas

nos últimos anos são categorizadas em figurativas (pictórica, analógica ou metafórica), descritivas (verbal, gráfica, tabular, diagramática, matemática), cinestésicas ou de gestos corporais (encenação, jogos) e que utilizam objetos tridimensionais (3D), experimentais ou maquetes [26].

Com respeito à relação entre representações e aprendizagem, a combinação das primeiras com um discurso científico integrador baseado em múltiplas representações constitui um mecanismo pedagógico de suma importância, aprimorando o processo de significação e oferecendo procedimentos variados de entendimento e interpretação [27]. Do ponto de vista pedagógico, um aluno aprende algo quando, além de mobilizar os conhecimentos dentro e fora do contexto de cada representação, é capaz de realizar mudanças entre representações [27].

### 1.2. O conceito científico das estações do ano

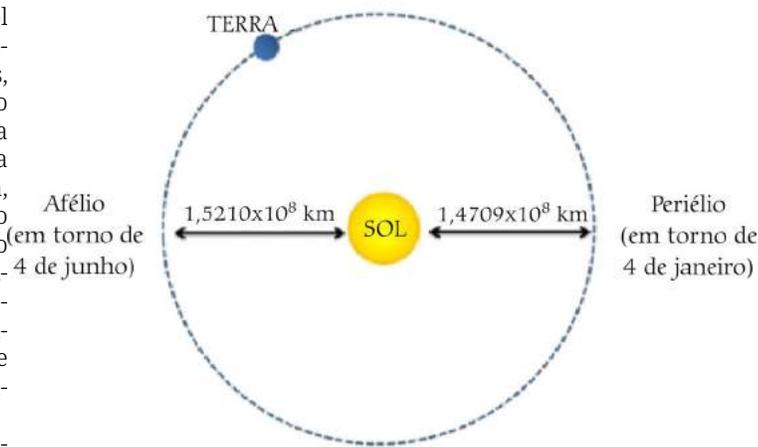
O conceito das estações do ano está presente nas diretrizes curriculares<sup>1</sup> e podemos citar outras importâncias a respeito do seu ensino. O estudo do referido fenômeno pode auxiliar crianças a entenderem a passagem do tempo e as mudanças periódicas, auxiliando-as na compreensão do mundo que as cerca e o meio ambiente; seu ensino pode também auxiliar um arquiteto na hora de projetar uma casa, pois, sabendo que a Terra possui um eixo de rotação inclinado, sabe que o Sol não nasce sempre no mesmo ponto ao longo de um ano no hemisfério sul e, se quiser economizar energia, deve construir sua edificação de modo que as janelas estejam direcionadas para o nordeste ou noroeste, para que a luz do Sol no inverno incida sobre elas, aquecendo o ambiente pela manhã ou pela tarde; ou ainda, o entendimento das estações do ano pode auxiliar na produção de alimentos totalmente naturais, compreendendo-se as épocas de colheita e maximizando sua produção.

A causa das estações do ano na Terra pode ser explicada cientificamente por meio de quatro conceitos fundamentais: (i) a translação (órbita anual) da Terra em torno do Sol, (ii) a inclinação de 23,5° do eixo de rotação do planeta em relação à normal ao plano de translação do nosso planeta em torno do Sol; (iii) a natureza esférica da Terra, e as (iv) consequentes alterações na intensidade da radiação do Sol que atinge a superfície do planeta, devido à inclinação e à órbita mencionadas anteriormente.

Lançando-se um olhar heliocêntrico para as estações do ano, sugere-se dar atenção especial para as Leis de Kepler. Do fato de as órbitas serem elípticas (primeira Lei de Kepler), surge a questão de que a Terra não está a uma distância fixa com relação ao Sol, apresentando um periélio (menor distância Terra-Sol) e um afélio (maior distância Terra-Sol). Tal ocorrência pode contribuir com a concepção alternativa mais difundida entre alunos, professores e futuros professores de que quando o planeta está mais próximo da estrela, é verão, e quando se encontra mais distante, é inverno [2].

Dentro dessa óptica, como se explicaria o fato de que quando é verão no hemisfério norte, é inverno no sul, e vice-versa? Variados estudos mostram essa questão estampada em livros didáticos (e.g., Refs. [8, 28-32]).

A Fig. 1 ilustra que o periélio ocorre em janeiro, quando é verão no hemisfério sul e inverno no hemisfério norte, enquanto que o afélio acontece em julho, momento em que é inverno no hemisfério sul e verão no hemisfério norte. Como a excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol é de



(Figura fora de escala de tamanho e distância)

Figura 1 - Representação imagética do afélio e do periélio da Terra.

aproximadamente 0,017, ou seja, quase circular, resulta-se numa diferença de distâncias entre o periélio e o afélio da ordem de 3%. Como consequência desse fato, a diferença da energia recebida pela Terra nessas posições é de aproximadamente 6% [33].

Entretanto, sabe-se que o eixo de rotação da Terra é inclinado de aproximadamente  $23,5^\circ$  em relação à normal ao plano de translação do nosso planeta em torno do Sol (ou, ainda, em outras palavras, a eclíptica<sup>2</sup> é inclinada em  $23,5^\circ$  em relação ao equador celeste), apontando sempre na mesma direção (Fig. 2).

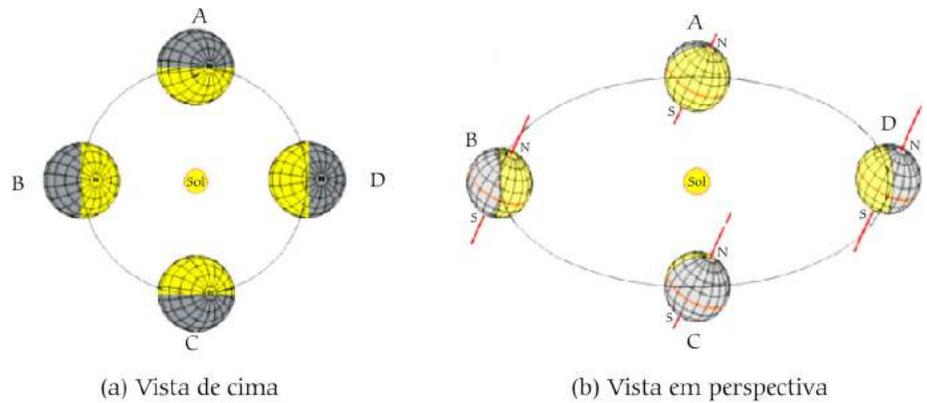
Como exemplos, tal fato ocasiona uma diferença de aproximadamente 66% e 45% na iluminação recebida durante o verão e inverno para as cidades de Porto Alegre e São Paulo, respectivamente [33, 34], sendo esse o real motivo das estações do ano, e não a variação da distância entre o planeta e a estrela.

Devido à mencionada inclinação, à medida que a Terra orbita o Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério ou outro, proporcionando mais horas com luz durante o dia a um hemisfério ou outro e, portanto, aquecendo mais um hemisfério ou outro. Isso implica que em junho teremos o solstício de verão para o Hemisfério Norte e de inverno para o Hemisfério Sul (Fig. 3), e em dezembro o solstício de verão para o Hemisfério Sul e de inverno para o Hemisfério Norte (Fig. 4).

No equador, todas as estações são semelhantes e todos os dias do ano o Sol fica 12 horas acima do horizonte e 12 horas abaixo dele, e a única diferença é a máxima altura que ele atinge [34].

## 2. Proposta de ensino das estações do ano

A proposta básica deste trabalho é produto da tese de doutorado de um dos autores [22] e visa proporcionar ao acadêmico e/ou professor a utilização de várias representações distintas de um mesmo conceito para que o estudante aprimore e refine seu entendimento do mesmo. Para tanto, pretende-se utilizar uma diversidade que inclui verbais textuais, imagéticas e 3D. O Quadro 1 sumariza a proposta, ilustrando na primeira coluna o número de aulas sugeridas, as ações pretendidas, o modo representacional dominante e referências bibliográficas (vistas em detalhes em seção posterior)



Figuras fora de escala de tamanho e distância

Figura 2 - Representação Imagética dos reais motivos das estações do ano na Terra. Fonte: adaptado de <http://www.cdcc.usp.br/cda/producao/sbpc93/>, acesso realizado em 6 agosto 2018.

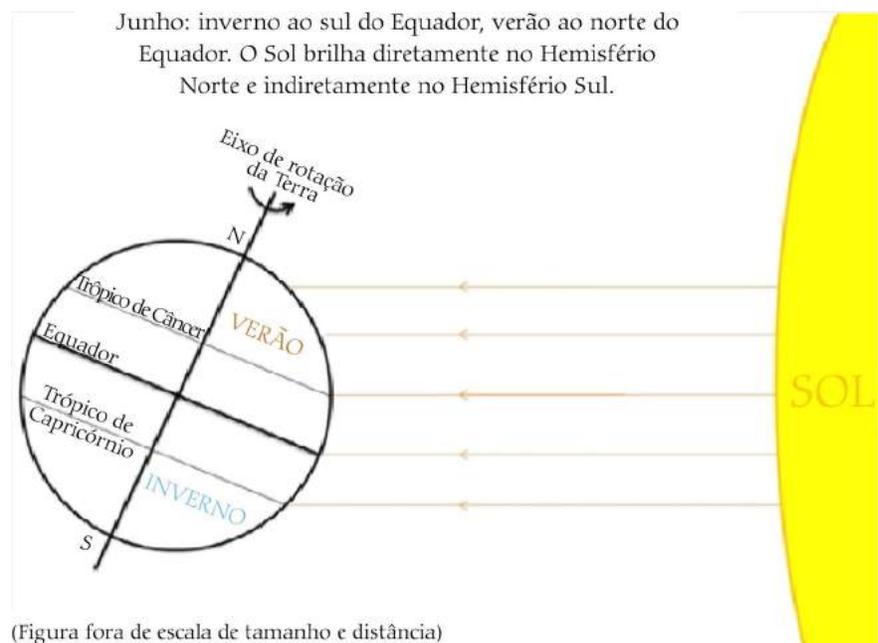


Figura 3 - Representação imagética do solstício de inverno do hemisfério sul.

para o estudo do conceito abordado.<sup>3</sup>

### 2.1. R1: Aulas expositivas sobre Sistema Solar e possíveis referências

A estratégia proposta inicia-se com uma abordagem expositiva, utilizando-se de representações verbal oral, textual, imagética e tabular acerca da composição do Sistema Solar e suas respectivas escalas de tamanho e distância. O objetivo primordial de R1 é deixar claro ao estudante a escala de tamanho (Fig. 5) e a distância entre o Sol e a Terra, para que depois ele possa trabalhar com isso em outras formas de representação nas práticas de R2 e R4.

Como é possível encontrar diversos

materiais de astronomia recheados de erros conceituais tanto pela internet quanto em livros e, também, como é provável que o professor não tenha tido conteúdos de astronomia em sua formação (inicial e/ou continuada), disponibilizamos algumas sugestões de *Referências Confiáveis* sobre a composição do Sistema Solar e o conceito das estações do ano:

- Na web:
  1. <http://astro.if.ufrgs.br/> (Acesso realizado em 06/08/2018): o site dos professores Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, da UFRGS, que disponibiliza materiais

Quadro 1: Cronograma de atividades, ações e modo representacional das ações propostas.

Referência - (nº de aulas sugeridas)	Ações	Modo representacional dominante	Referências Confiáveis
R1 - (02)	Aulas expositivas - Sistema Solar: composição e escalas de tamanho e distâncias	Verbal oral, textual, imagético e tabular produzido pelo professor (slides, por exemplo)	[1-5]
R2 - (02)	Prática: Sistema Solar em escala	3D produzido pelos estudantes em grupos	[8]
R3 - (02)	Aulas expositivas: órbita da terra e as estações do ano	Verbal oral, textual, imagético e tabular produzido pelo professor	[1-3]
R4 - (02)	Prática: órbita da Terra e as estações do ano	Imagético e 3D produzido pelos estudantes em grupos	[8]

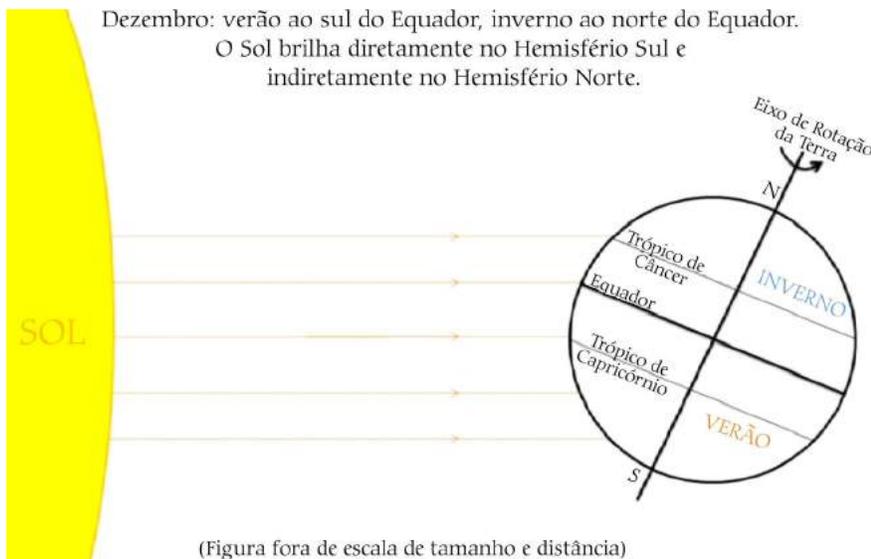


Figura 4 - Representação imagética do solstício de verão do hemisfério sul.



Figura 5 - Sol e planetas em escala aproximada de tamanho, fora de escala de distância. Fonte: adaptado de <https://www.iau.org/public/images/detail/iau0601a/>, acesso em 10 agosto 2018.

confiáveis de astronomia e astrofísica. Dentre vários tópicos, encontra-se aí a composição básica do Sistema Solar e a explicação do fenômeno das estações do

- ano.
2. <https://solarsystem.nasa.gov/> (Acesso realizado em 06/08/2018): página do Sistema Solar do site oficial da NASA. Esse site

disponibiliza informações acerca do nosso Sistema Solar, dentre outras as dimensões, massas, períodos de rotação, translação, densidade e outras informações sobre o Sol, planetas, planetas-anões e satélites naturais, dentre outros. Somente em inglês.

3. <https://app.box.com/s/wi6f5qj0niudx5pdtmyb> (Acesso realizado em 06/08/2018): Apostilas dos cursos a distância do Observatório Nacional (ON).
4. <http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/didatico.html> (Acesso realizado em 06/08/2018): materiais didáticos do prof. dr. Gastão Bierrenbach Lima Neto do IAG da USP, incluindo “Tamanho relativo dos planetas e estrelas”, “Órbitas de planetas e planetas-anões no Sistema Solar” e “Sistema Terra-Lua-Sol”, dentre outros.
5. <https://www.youtube.com/watch?v=zR3Igc3Rhfg> (Acesso realizado em 06/08/2018): vídeo, em inglês, da construção de um Sistema Solar em escala de tamanho e distância (título original: *To Scale: The Solar System*).
6. <https://sites.google.com/site/proflanghi/> (Acesso realizado em 10/08/2018): site do prof. Dr. Rodolfo Langhi, que disponibiliza links para textos, cursos e diversos outros materiais, informações e divulgação sobre a educação em astronomia.
7. <http://www.btdea.ufscar.br/> (Acesso realizado em 10/08/2018): site do prof. Dr. Paulo Bretones, que faz um levantamento, em conjunto com outros pesquisadores, e disponibiliza um banco de teses e dissertações sobre educação em astronomia.

- Materiais impressos e livros:
  8. D. Trevisan Sanzovo, V. Queiroz, R.H. Trevisan, in: *Ensino de*

*Astronomia na Escola: Concepções, Ideias e Práticas*, organizado por M.D. Longhini (Editora Átomo, Campinas, 2014), Cap. 6, p. 105-124. (Capítulo de livro que versa sobre estratégias alternativas para o ensino de astronomia)

9. J.E. Horvath, *O ABCD das Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2008) (Livro de introdução à astronomia e astrofísica)
  10. K.S. Oliveira Filho, M.F.O Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004) (Livro de introdução à astronomia e astrofísica)
  11. A.C.S. Friaça, E. Dal Pino, L. Sodré Jr, V. Jatenco-Pereira. *Astronomia: Uma Visão Geral do Universo* (EDUSP, São Paulo, 2003) (Livro de introdução à astronomia e astrofísica)
- livros infanto-juvenis:
    12. J. Romanzini, V. Queiroz, R.H. Trevisan, D. Trevisan Sanzovo, C. Lattari, A.T. Bruno, *O Sistema Solar na Aula da Professora Zulema* (EDUEL, Londrina, 2009) (Livro infanto-juvenil do grupo GEPETO; link: <https://sites.google.com/site/gepeastro/home>, acesso realizado em 10/08/2018, que versa sobre a composição básica do Sistema Solar)
    13. V. Queiroz, J. Romanzini, D. Trevisan Sanzovo, A.T. Bruno, C. Lattari, R.H. Trevisan, *O Caminho do Sol no Céu* (EDUEL, Londrina, 2012) (Livro infanto-juvenil do grupo GEPETO; link:

<https://sites.google.com/site/gepeastro/home>, acesso realizado em 10/08/2018, que versa sobre os pontos cardeais e noções básicas sobre o caminho que o Sol percorre no céu)

## 2.2. R2: Prática Sistema Solar em escala

Após a aula inicial expositiva acerca da composição e das escalas de tamanho e distância do Sistema Solar, sugere-se trabalhar as escalas na prática. Para tanto, os autores da Ref. [15] propõem a construção de um Sistema Solar seguindo-se sua escala de tamanho e, se o espaço físico disponível permitir, de distância. É possível a utilização de materiais acessíveis como (i) bexiga gigante (para o Sol), (ii) rolo de barbante (para servir como auxílio na medição do seu modelo de Sol), (iii) folhas sulfite, (iv) lápis, (v) borracha, (vi)

tesoura, (vii) compasso, (viii) régua, (ix) calculadora, (x) areia ou terra (um punhado), (xi) massinhas de modelar, (xii) bolas de isopor, (xiii) papel jornal, (xiv) papel alumínio, (xv) massa epóxi, dentre outros (Fig. 6).

Sugere-se adotar uma escala em que o Sol assuma uma esfera de aproximadamente 90 cm de diâmetro<sup>4</sup> (representado pela bexiga gigante), que corresponde ao diâmetro solar real de 1.391.892 km [35]. Por meio de “regra de três” (ou outro método de conversão qualquer), os diâmetros dos planetas (e outros corpos) e as respectivas distâncias médias em relação ao Sol poderão ser calculadas. A Tabela 1 mostra o diâmetro médio e as distâncias médias ao Sol de alguns componentes do Sistema Solar; o diâmetro do Sol (900 mm) e dos astros (em milímetros) na escala mencionada e, também, suas distâncias médias (em km) e na escala da oficina,



Figura 6 - Sol, planetas, Lua e plutão em escala de tamanho.

Tabela 1: Diâmetros equatoriais e distâncias médias aproximadas de alguns componentes do Sistema Solar.

Astro	Diâmetro		Distâncias médias	
	real** (km)	maquete 3D (mm)	ao Sol - real** (km)	em escala - maquete (m)
Sol	1.391.892*	900,0	–	–
Mercúrio	4.879,4	3,2	57.909.227,0	37,4
Vênus	12.103,6	7,8	108.209.475,0	70,0
Terra	12.742,0	8,2	149.598.262,0	96,7
Lua	3.475,0	2,2	384.400,0***	0,2
Marte	6.779,0	4,4	227.943.824,0	147,4
Júpiter	139.822,0	90,4	778.340.821,0	503,3
Saturno	116.464,0	75,3	1.426.666.422,0	922,5
Urano	50.724,0	32,8	2.870.658.186,0	1.856,2
Netuno	49.244,0	31,8	4.498.396.441,0	2.908,7

\* Referência ao diâmetro do Sol, Ref. [35].

dada em metros. O professor poderá fazer um “Sol” de outro tamanho; nesse caso, é só alterar a medida de 90 cm de nossa escala pelo valor correspondente da escolhida, fazendo-se novos cálculos.

Se houver espaço físico disponível, é possível, além da construção do Sistema Solar em escala de tamanho, colocá-los em escala de distância. Ao trabalharem com a escala sugerida, os estudantes poderão visualizar na prática que, se o Sol tivesse um diâmetro de 900 mm, a Terra apresentaria um diâmetro de 8,2 mm e estaria a 96,7 m de distância em relação à nossa estrela. Com a compreensão da composição do Sistema Solar e das escalas de tamanho e distância (R1 e R2), sugere-se agora trabalhar a configuração da órbita da Terra em torno do Sol e do eixo de rotação da Terra em termos do plano de sua translação (R3 e R4), com veremos adiante.

### 2.3. R3: Aulas expositivas: órbita da Terra e as estações do ano

Nessa atividade, o professor explica expositivamente a teoria envolvida de tudo o que já foi visto, incluindo-se: (i) os movimentos do planeta Terra, englobando a rotação, a translação e a precessão; (ii) o fenômeno das estações do ano pode ser visto em conjunto com a configuração do eixo de rotação do nosso planeta e sua respectiva inclinação, revisitando, com os alunos, (iii) as escalas de tamanho e de distância da Terra (e demais planetas) e do Sol.

### 2.4. R4: Prática: órbita da Terra e as estações do ano

Essa prática trabalha o conceito das órbitas dos planetas de forma simples, com material de baixo custo, dando ao aluno uma visualização muito clara de que elas são praticamente círculos (elipses muito pouco achatadas) — diferentemente do conceito passado por alguns livros didáticos que persistem em mostrar figuras imprecisas, passando um conceito errado —, além de trabalhar com o conceito matemático das elipses. Materiais necessários: (i) cartolina; (ii) lápis (ou caneta); (iii) tachinha (ou prego); (iv) pedaço pequeno de isopor (para suporte do prego ou tachinha); e (v) barbante.

#### 2.4.1. Resumo das propriedades da elipse:

Define-se uma elipse (Fig. 7) como o lugar geométrico do plano cuja soma das distâncias a dois pontos fixos (chamados de focos) é constante e cujo valor é  $2a$ , onde  $a$  é o semieixo maior

da elipse (metade da maior distância ente dois pontos da elipse). O semieixo menor é comumente denominado  $b$ .

Já a distância focal  $f$  é definida como sendo a distância entre o centro e um dos focos da elipse. Chama-se excentricidade  $e$  (medida do achatamento da elipse) ao quociente

$$e = \frac{f}{a}$$

A excentricidade da órbita da Terra é de  $e = 0,017$  (<https://solarsys.tem.nasa.gov/>, acesso realizado em 10/08/2018).

#### 2.4.2. Cálculo da distância focal $f$ da elipse

Deve-se calcular o valor da distância focal  $f$  da elipse que será desenhada. Para isso, deve-se adotar um valor de  $a$ . Para desenhar a órbita em uma cartolina, sugerimos valores entre 35 e 50 cm. Para o cálculo de  $f$  temos:

$$e = \frac{f}{a} \Rightarrow f = e \times a$$

Por exemplo, para a Terra ( $e = 0,017$ ), adotando-se  $a = 45$  cm, temos:

$$f = 0,017 \times 45 = 0,765 \text{ cm.}$$

#### 2.4.3. Desenhando a elipse

Fixando-se, com cuidado, uma tachinha (ou prego) em  $F_1$  e  $F_2$  (Fig. 8a). Dica: pode-se colocar um pedaço pequeno de isopor por baixo da cartolina para fixar a tachinha, de modo a evitar danos materiais à carteira/mesa e possíveis acidentes. Amarre um barbante com comprimento  $L$ , equivalente

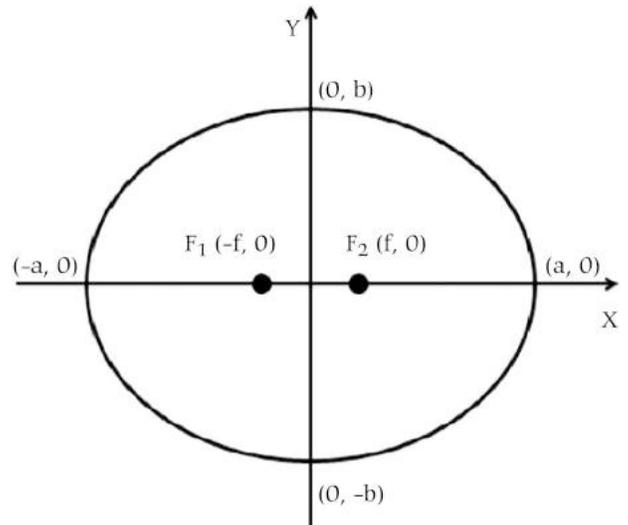


Figura 7 - Representação da elipse.

a:

$$L = 2 \times (f + a)$$

No caso do nosso exemplo (Terra, com  $a = 45$  cm):

$$L = 2 \times (0,765 + 45) = 91,53 \text{ cm}$$

Amarre as duas pontas do barbante (mantendo o comprimento interno em  $L = 91,53$  cm, neste caso). Coloque o barbante em volta dos pregos, estique-o com um lápis ou lapiseira e desenhe a elipse com este objeto sempre reto e o barbante esticado (detalhe ilustrado pela Fig. 8b). Sua elipse está pronta. Compare o real achatamento da órbita da Terra (quase circular) com as encontradas em seus materiais didáticos (geralmente muito achatadas).

A seguir, os alunos podem construir uma maquete, representando a posição da Terra no movimento de translação em torno do Sol, em cima da órbita desenhada, em pelo menos quatro posições: os equinócios e os solstícios. Materiais sugeridos: (i) órbita da Terra desenhada em cartolina (atividade anterior); (ii) bolinhas de isopor;

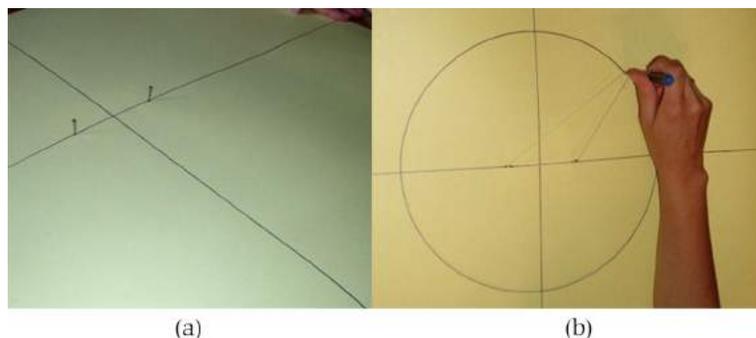


Figura 8 - (a) Preparo para desenho da elipse e (b) desenhando a elipse.

(iii) palitinhos de churrasco ou lápis (para representar o eixo de rotação da Terra); (iv) lâmpada e soquete de luz (para representar a radiação solar).

Coloque uma lâmpada incandescente, que irá representar o Sol, na posição de um dos focos. *Tome cuidado para não se queimar durante essa atividade.* Faça quatro Terras utilizando bolas de isopor e espetos de churrasco ou lápis, tomando cuidado para não se machucar. Indique nas Terras os hemisférios Norte e Sul. Construa, sob uma placa de isopor, as quatro posições mencionadas, levando-se em conta a inclinação do eixo de rotação da Terra (Fig. 9). Por fim, faça uma análise geral de todas as atividades realizadas.

### 3. Considerações finais

O presente trabalho sugeriu uma proposta metodológica para o ensino das estações do ano, elaborada num estudo mais amplo, em nível de doutorado. Tal sugestão utiliza o referencial metodológico da diversidade representacional, que se baseia no uso coordenado e integrado de variadas formas de representação de um mesmo conceito



Figura 9 - Maquete das estações do ano.

científico, variando entre verbal, gráfica, tabular, matemática, imagética, experimentais ou maquetes, de maneira que o aprendiz possa aprofundar a compreensão e refinar o conceito científico.

Em conjunto com a proposta, apresentam-se sugestões de referências do assunto abordado, orientando os professores sobre *onde* encontrar fontes confiáveis. Além disso, utilizam-se materiais acessíveis e de baixo custo, não sendo necessário grande investimento por parte dos envolvidos (professores, alunos, instituições de ensino).

Ao ser aplicada em pesquisa de formação inicial de professores de ciências, essa proposta metodológica resultou em uma compreensão mais profunda a respeito das estações do ano [22, 23], fazendo com que deixassem, inclusive, de explicar o fenômeno por meio do uso de “chavões” [3]. Sua utilização é indicada para qualquer nível de ensino, variando desde o fundamental, séries iniciais, até a formação continuada de professores e pós-graduação.

### Agradecimentos

Carlos Eduardo Laburú agradece apoio do CNPq (Bolsista CNPq/processo 302281/2015-0).

### Referências

- [1] R. Langhi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **28**, 373 (2011).
- [2] A. Lelliott, M. Rollnick, *International Journal of Science Education* **32**, 1771 (2010).
- [3] S.M. Bisch, *Astronomia no Ensino Fundamental: Natureza e Conteúdo do Conhecimento de Estudantes e Professores*. Tese de Doutorado, IF/USP, 1998.
- [4] N. Camino, *Enseñanza de las Ciencias* **13**, 81 (1995).
- [5] J. de Manoel, A. Montero, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* **3**, 91 (1995).
- [6] R. Langhi, *Um Estudo Exploratório para a Inserção da Astronomia na Formação de Professores dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental*. Dissertação de Mestrado, UNESP, 2004.
- [7] C. Leite, *Os Professores de Ciências e Suas Formas de Pensar a Astronomia*. Dissertação de Mestrado, IF/USP, 2002.
- [8] E. Lima, *A Visão do Professor de Ciências Sobre as Estações do Ano*. Dissertação de Mestrado, UEL, 2006.
- [9] M.C. Batista, P.A. Fusinato, A.A. de Oliveira, *Ensino & Pesquisa* **16**, 46 (2018).
- [10] P.H.A. Sobreira, in: *Educação em Astronomia: Experiências e Contribuições para a Prática Pedagógica*, organizado por M.D. Longhini (Editora Átomo, Campinas, 2010).
- [11] S.E.M. Gonzatti, A.S. de Maman, E.F. Borragini, J.C. Kerber, W. Haetinger, *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia* **16**, 27 (2013).
- [12] D. Trevisan Sanzovo, C.E. Laburú, *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia* **22**, 35 (2016).
- [13] R. Caniato, *A Terra em que Vivemos* (Editora Átomo, Campinas, 2007).
- [14] R. Caniato, *O Céu* (Editora Átomo, Campinas, 2011).
- [15] D. Trevisan Sanzovo, V. Queiroz, R.H. Trevisan, in: *Ensino de Astronomia na Escola: Concepções, Ideias e Práticas*, organizado por M.D. Longhini (Editora Átomo, Campinas, 2014).
- [16] P.S. Bretones, *Jogos Para o Ensino de Astronomia* (Editora Átomo, Campinas, 2014), 2ª ed.
- [17] <http://www.btdea.ufscar.br/>, acesso em 6 de agosto 2019.
- [18] V. Prain, B. Waldrup, *International Journal of Science Education* **28**, 1843 (2006).
- [19] L. Radford, L. Edwards, F. Arzarello, *Educational Studies in Mathematics* **70**, 91 (2009).
- [20] E. Blown, T.G.K. Bryce, *International Journal of Science Education* **32**, 31 (2010).
- [21] R. Tytler, V. Prain, S. Peterson, *Research in Science Education* **37**, 313 (2007).
- [22] D. Trevisan Sanzovo, *Níveis Interpretantes Alcançados por Estudantes de Licenciatura em Ciências Biológicas Acerca das Estações do Ano Por Meio da Utilização da Estratégia de Diversidade Representacional: Uma Leitura Peirceana Para Sala de Aula*. Tese de Doutorado, UEL, 2017.
- [23] D. Trevisan Sanzovo, C.E. Laburú, Níveis Significantes do Significado das Estações do Ano com o Uso de Diversidade Representacional na Formação Inicial de Professores de Ciências, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **17**, 745 (2017).
- [24] D. Trevisan Sanzovo, C.E. Laburú, in: *A Produção do Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra*, organizado por I.A. Gomes (Editora

- Atena, Ponta Grossa, 2019).
- [25] C.S. Wallace, B. Hand, V. Prain, *Writing and Learning in the Science Classroom* (Kluwer Academic Publishers: Science & Technology Education Library, Holanda, 2004).
- [26] C.E. Laburú, O.H.M.D. Silva, *Investigações em Ensino de Ciências* **16**, 7 (2011a).
- [27] C.E. Laburú, O.H.M.D. Silva, *Ciência & Educação* **17**, 721 (2011b).
- [28] P. Amaral, C.E.Q.V. de Oliveira, *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia* **12**, 31 (2011).
- [29] N. Bizzo, *Ciência Hoje* **21**(121), 26 (1996).
- [30] J.B.G. Canalle, R.H. Trevisan, C.J.B. Lattari, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **14**, 254 (1997).
- [31] R. Langhi, R. Nardi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **24**, 87 (2007).
- [32] R.H. Trevisan, C.J.B. Lattari, J.B.G. Canalle, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **14**, 7 (1997).
- [33] J.E. Horvath, *O ABCD da Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2008).
- [34] K.S. Oliveira Filho, M.F.O. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2004).
- [35] M. Emilio, S. Couvidat, R.I. Bush, J.R. Kuhn, I.F. Scholl, *The Astrophysical Journal* **798**, 48 (2014).

## Notas

<sup>1</sup>Ressalta-se que se encontra em discussão a implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), de iniciativa do Governo Federal, que pode ser entendida como um conjunto de orientações com objetivo de nortear as equipes pedagógicas na elaboração dos currículos locais.

<sup>2</sup>Devido ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, este último aparentemente se move entre as estrelas, ao longo do ano, descrevendo uma trajetória na esfera celeste chamada *eclíptica* [34].

<sup>3</sup>Ressalta-se a importância da formação dos conteúdos específicos de astronomia para o docente de ciências: se o professor não teve tais conteúdos em sua formação (inicial e/ou continuada), sugere-se como um primeiro passo buscar cursos de extensão e pós-graduações na área em instituições de ensino, tais como, por exemplo, cursos de extensão do IAG USP <http://www.iag.usp.br/astrofísica/cursos-de-extensao>, curso EaD de astrofísica geral da UFSC <http://astrofísica.ufsc.br/>, cursos da USP por meio de e-aulas <http://eaulas.usp.br/portal/profession.action?profession=Astronomia>, curso de introdução à astronomia e astrofísica do INPE <http://www.inpe.br/ciaa2018/>, curso de mestrado profissional em ensino de astronomia do IAG da USP <http://www.iag.usp.br/pos/node/8155> [todos os acessos realizados em 8 agosto 2018], dentre outros.

<sup>4</sup>Dica: Para a determinação do diâmetro da bexiga sugere-se trabalhar na prática com sua circunferência, usando um barbante (depois uma régua) ou uma fita métrica. Com a bexiga já cheia, basta colocar o barbante circulando toda a região central da bexiga (“equador” da bexiga), medindo sua circunferência e, deste modo, obter seu diâmetro.



# Demonstrações investigativas sobre circuitos elétricos

.....

**Gláucia G.G. Costa\***

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

**Jéssica F.M. dos Santos**

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

**Priscila F. Guidini**

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

**Tomaz Catunda**

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

## RESUMO

*Neste artigo propomos uma sequência didática de circuitos elétricos, utilizando-se da estratégia de demonstrações experimentais investigativas. Para tanto, desenvolvemos um quadro de eletricidade e roteiros de demonstrações experimentais que consistem em um conjunto de atividades práticas com questões que valorizam as ideias dos estudantes e que procuram levar à comparação entre a crença desses estudantes e a realidade física observada.*

**Palavras-chave:** circuitos elétricos; eletricidade; demonstrações investigativas; estratégia POE

.....

## 1. Introdução

A maioria dos professores considera a demonstração experimental uma importante ferramenta do ensino de física, podendo captar e reter a atenção dos estudantes. A abordagem tradicional preocupava-se em ilustrar o fenômeno físico, o que é importante para torná-lo menos abstrato e mais interessante. Entretanto, inúmeras pesquisas revelam que geralmente as demonstrações não têm o efeito desejado na aprendizagem [1, 2]. Por exemplo, muitas vezes os alunos se distraem com outros aspectos da demonstração, mas não se atentam ao fenômeno principal. Outras vezes, embora os estudantes observem corretamente a demonstração, ela não provoca a mudança conceitual desejada, ou seja, não consegue confrontar as crenças ou concepções espontâneas dos estudantes. Dessa forma, a estratégia tradicional, denominada “demonstração fechada” [1, 3, 4], restringe-se a simples ilustração, ou seja, uma atividade centrada no professor que não permite ou propicia a participação ativa dos estudantes. Por outro lado, as denominadas “demonstrações abertas” visam ao desenvolvimento conceitual através do questionamento por parte dos estudantes, os quais devem procurar explicações qualitativas à situação real apresentada, sem se restringir à mera aplicação de fórmulas ou receitas.

Vários estudos demonstram que as estratégias de aprendizagem investigativa são muito eficientes para o aumento da compreensão dos estudantes sobre os conceitos básicos da física [1-6].

Por exemplo, Crouch e cols. [2] concluíram que estudantes que assistem passivamente a uma demonstração não têm uma aprendizagem melhor que os estudantes que não tiveram a demonstração. Entretanto, com estratégias investigativas, os alunos são impulsionados a construir seus conhecimentos conceituais por meio da observação direta do mundo físico. Dentre as estratégias possíveis, temos as demonstrações experimentais investigativas (doravante chamadas apenas de DI), que são alternativas para complementar as aulas

**Vários estudos demonstram que as estratégias de aprendizagem investigativa são muito eficientes para o aumento da compreensão dos estudantes sobre os conceitos básicos da física**

expositivas tradicionais, bem como são planejadas para serem utilizadas na mesma estrutura física das salas de aula comuns.

Acerca dessas considerações, Sokoloff e Thornton

[6] propuseram a utilização das DI segundo a sequência de aprendizagem PODS (Previsão individual da situação problema colocada, seguida de discussão em pequenos grupos; Observação da demonstração experimental; Discussão em pequenos grupos, comparando a previsão com a observação realizada; e Síntese da situação física estudada). Assim, os alunos são levados a confrontar suas crenças e ideias com a realidade física e acreditamos que, por meio desse eventual choque entre a crença e a realidade, o conceito físico é mais bem apreendido. Esse ciclo também é conhecido como POE, com E de Explicação [3, 4]. As pesquisas demonstram que a adoção desse tipo de estratégia aumenta efetivamente a aprendizagem [5, 7]. Nesse processo de aprendizagem, o professor ganha um papel fundamental para que os alunos cheguem às conclusões corretas e a partir dessas con-

\*Autor de correspondência: Gláucia G.G. Costa, gggcosta@ifsc.usp.br.

clusões, criadas por eles mesmos, o conceito físico torne-se mais bem assimilado.

Neste trabalho, apresentamos roteiros de DI sobre circuitos elétricos, tais como circuitos elétricos simples (associados em série, paralelo e misto), resistências, diferenças de potencial e circuitos com elementos diferentes. Apresentamos também considerações experimentais sobre o quadro elétrico que desenvolvemos para as demonstrações, assim como sugestões de componentes.

## 2. Aparato experimental: o quadro de eletricidade

Existem várias possibilidades de demonstrações de eletricidade [8-14]. Optamos por usar lâmpadas e assim construímos um quadro de madeira (Fig. 1) com bornes, alimentado com uma fonte de tensão constante ( $V = 12\text{ V}$ ). A linha vermelha na parte superior do quadro de eletricidade representa a tensão de  $+12\text{ V}$  e a preta, na parte inferior,  $0\text{ V}$  (terra); somente nessas linhas os bornes estão ligados entre si. Há uma chave que permite optar por tensão variável ( $0-12\text{ V}$ ), com ajuste contínuo da tensão através de um potenciômetro. O Anexo 3 contém detalhes sobre os componentes utilizados. A Ref. [9] mostra outro tipo de montagem de um quadro de demonstrações de circuitos.

Nas demonstrações qualitativas, o brilho da lâmpada é um indicador da magnitude da corrente e escolhemos os componentes para maximizar a visibilidade do efeito desejado. Os experimentos, em sua maioria, são realizados com lâmpadas (lâmpada 5 mm com rabicho) cuja potência é  $0,36\text{ W}$  ( $6\text{ V}$ ). Embora fabricadas para tensão de  $6\text{ V}$ , elas suportam também a tensão de  $12\text{ V}$ . Dessa maneira, pode-se perceber um brilho muito intenso usando  $V = 12\text{ V}$  em uma lâmpada e a diminuição desse brilho no caso de 2 lâmpadas em série, 3 lâmpadas etc. Com até  $\sim 8$  lâmpadas o brilho ainda é perceptível. Em um ambiente iluminado (normal de sala de aula), estimamos que o limiar de percepção do brilho da lâmpada seja  $\sim 50\text{ mW}$  (a potência luminosa visível é da ordem de alguns microwatts).

Nas demonstrações comentadas neste artigo supõe-se que a fonte de tensão seja ideal, ou seja, forneça uma tensão aproximadamente constante independentemente da corrente fornecida. Em princípio, uma fonte ideal mantém a mesma diferença de potencial que não varia com o número de lâmpadas ligadas em paralelo. Na prática, todas

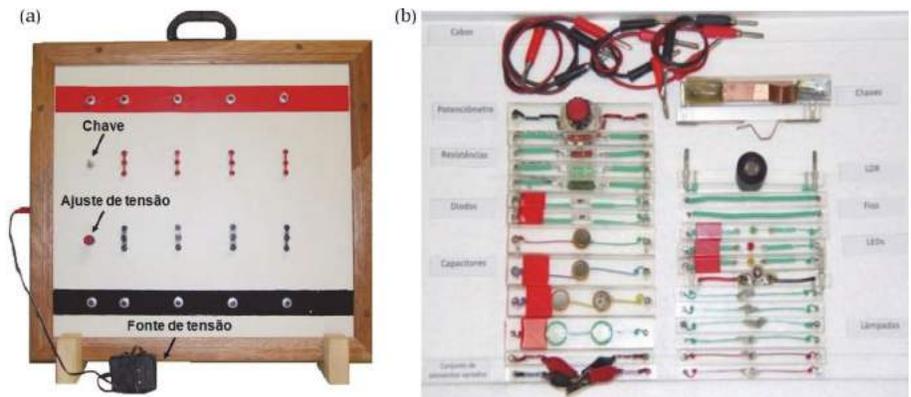


Figura 1 - (a) foto da composição do quadro de eletricidade. A linha vermelha indica os pontos ligados ao terminal positivo da fonte e a preta, o terminal negativo ou terra; (b) foto dos elementos de circuitos que fazem parte do quadro de eletricidade.

se comportam aproximadamente como ideal, para correntes abaixo de um determinado valor. Por exemplo, como será visto no experimento sobre circuitos em paralelo (Fig. 3), o brilho da lâmpada deve ser o mesmo independentemente do número de lâmpadas ligadas em paralelo. Isso não ocorrerá se as lâmpadas tiverem alta potência.

Deve-se considerar que na realidade as lâmpadas não são exatamente idênticas, ou seja, usando um ohmímetro verificamos um desvio-padrão no valor da sua resistência  $\Delta \sim 10\%$ . Supondo que a potência luminosa observada seja proporcional à potência elétrica dissipada ( $P = R \cdot i^2 = V^2/R$ ), estimamos que ocorram variações de brilho  $\sim \Delta$ , na comparação do brilho de duas lâmpadas tanto no circuito em série como no em paralelo. Entretanto, verificamos experimentalmente que não conseguimos distinguir variações de brilho menores que  $\sim 10\%$ , ou seja, para observações visuais (qualitativas), variações de resistência das lâmpadas em até  $\sim 10\%$  são toleráveis.

## 3. Roteiros de demonstrações experimentais investigativas (DI)

As demonstrações experimentais a

serem realizadas são simples e versam sobre circuitos elétricos, abordando os seguintes conteúdos: modelo de circuito elétrico, circuitos simples (série, paralelo e misto), diferença de potencial e resistência equivalente. Esses temas foram escolhidos visando auxiliar a esclarecer algumas das principais concepções alternativas dos alunos para compreender esse tópico.

Para a realização das DI, sugerimos que as questões, a princípio, sejam colocadas para os alunos com os circuitos montados no quadro (Fig. 1), porém desligados. Assim, os mesmos são levados a pensar nas respostas e após as observações eles podem consolidar os conceitos físicos envolvidos em cada experimento.

### 3.1. Modelo de circuito elétrico

A primeira demonstração visa ilustrar que um circuito só funciona se estiver devidamente fechado. Para isso, o professor pode solicitar aos estudantes que desenhem diferentes formas de acender uma lâmpada incandescente comum [15] utilizando apenas uma lâmpada de lanterna (incandescente), um fio e uma bateria.

A partir da demonstração (Fig. 2a) e

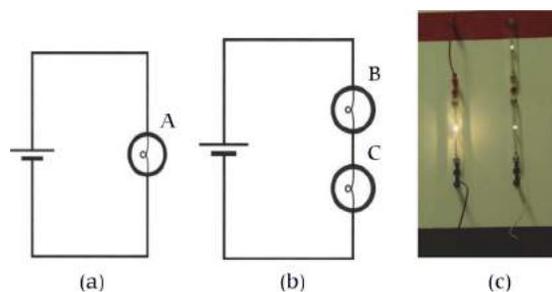


Figura 2 - (a) esquema do circuito com uma lâmpada; (b) esquema do circuito com duas lâmpadas em série; (c) foto mostrando que duas lâmpadas em série têm brilho menor que uma única lâmpada.

discussão de que a mesma só acende se os terminais de todos os elementos estiverem corretamente conectados (lâmpada, fios, bateria), os alunos aprendem o conceito de circuito fechado, o que nos possibilita elaborar o *modelo de circuito elétrico*.

Modelo de circuito elétrico: em um circuito fechado existe um fluxo que sai de um terminal da bateria, percorre todo o resto do circuito e retorna ao outro terminal da bateria e através dela. Esse fluxo será denominado corrente elétrica. Além disso, vamos considerar que quando o circuito estiver ligado, o *brilho das lâmpadas pode ser usado como um indicador qualitativo do valor da corrente* que atravessa o circuito: quanto maior o brilho da lâmpada, maior é a corrente [11].

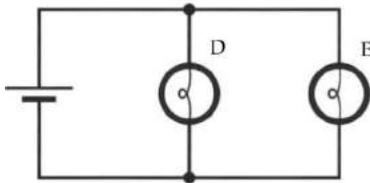
Nessa DI, é interessante colocar para os alunos que as lâmpadas funcionam como uma resistência (uma dificuldade) à passagem do fluxo de corrente elétrica. Com esse conceito formalizado, pode-se realizar as DI de circuitos simples: série, paralelo e misto.

### 3.2. Circuito série

A ligação em série configura uma oportunidade dos alunos se acostumarem e utilizarem efetivamente o modelo que foi elaborado. Assim, sugerimos que o professor monte o circuito com duas lâmpadas em série, sem ligar a fonte (Fig. 2b). Em seguida, propomos que ele peça previsões sobre o que ocorrerá na demonstração:

*Qual a sua opinião? Quando a fonte for ligada na Fig. 2b, preveja como a luminosidade (brilho) das lâmpadas B e C se compararão.*

Após as previsões dos grupos, o professor realiza a demonstração inicialmente com 2 lâmpadas, e se quiser pode colocar 3 lâmpadas em série. Em princípio, sugerimos que seja adotado o mesmo procedimento (descrito no Anexo 1: Etapas de uma demonstração investigativa) para todas as questões.



(a)



(b)

Figura 3 - (a) esquema do circuito com duas lâmpadas em paralelo; (b) foto mos-

Obviamente, pode-se fazer as adaptações conforme o tempo disponível e as necessidades da classe.

Nesse experimento o professor deve estar atento a duas dificuldades básicas que sempre surgem (conforme descrito no Anexo 2: Principais concepções alternativas sobre circuitos elétricos). Uma delas é entender o que acontece com a corrente que flui no circuito. Muitos alunos não conseguem compreender que a corrente através dos elementos permanece a mesma, ao longo de todo o circuito em série, pois há uma forte crença (concepção alternativa) de que o fluxo é consumido ou se divide pelos elementos. A outra dificuldade está relacionada à fonte de tensão, ou seja, a falta de percepção de que a corrente fornecida por essa fonte não é sempre a mesma, mas depende do circuito. Muitos alunos, mesmo depois de observarem o funcionamento de um circuito em série, continuam acreditando que a corrente fornecida pela fonte é a mesma nos dois circuitos da Fig. 2. A fim de tentar sanar essas dificuldades, propomos que sejam realizadas as perguntas a seguir.

*Agora responda:*

- Com base apenas em suas observações, é possível dizer a direção do fluxo através do circuito?
- Compare o brilho da lâmpada B (Fig. 2b) com o brilho da lâmpada A (Fig. 2a).
- A partir da resposta do item anterior, compare a corrente fornecida pela fonte de tensão (ou através da fonte) nos circuitos da Fig. 2a e da Fig. 2b.

### 3.3. Circuito paralelo

O procedimento pode ser totalmente análogo ao do circuito em série. Sugerimos para tal experimento a seguinte questão:

*Qual(is) a(s) sua(s) opinião(ões)? Quando o circuito for ligado, como será o brilho das lâmpadas D e E da Fig. 3a? Compare os brilhos de D e E (Fig. 3a) com*

*os de B e C (Fig. 2b) e com o de A (Fig. 2a).*

Após a realização dessa DI propomos que sejam realizadas as seguintes perguntas aos alunos, referentes à interpretação das observações:

*Agora responda:*

- Com base apenas em suas observações, é possível dizer a direção do fluxo através do circuito?
- Compare o brilho da lâmpada D (Fig. 3a) com o brilho da lâmpada A (Fig. 2a). Agora compare o brilho da lâmpada D (Fig. 3a) com o brilho da lâmpada B (Fig. 2b).
- A partir da resposta do item anterior, compare a corrente fornecida pela fonte de tensão (ou através da fonte) nos circuitos da Fig. 2a e da Fig. 3a. Agora compare a corrente na fonte (ou através da fonte) nos circuitos das Figs. 2b e 3a.

No circuito em paralelo (Fig. 3), a maior dificuldade dos alunos é perceber que a fonte tem de fornecer uma corrente duas vezes maior que a corrente para cada lâmpada, ou seja, duas vezes maior que a fornecida no circuito da Fig. 2a.

Convém ressaltar que nos circuitos em série e paralelo (Figs. 2 e 3) propomos a comparação das luminosidades das lâmpadas, as quais podem ser um pouco diferentes devido a diferenças entre lâmpadas supostamente idênticas. A lâmpada com maior resistência apresenta um brilho maior no circuito em série (Fig. 2b) e menor no circuito em paralelo (Fig. 3). Tal como já mencionado, normalmente essas diferenças são imperceptíveis, mas o professor deve estar atento a esse detalhe.

### 3.4. Circuito misto

Nesse experimento, diferentemente dos anteriores, são apresentados em um mesmo circuito os dois tipos de ligações (série e paralelo), com o intuito de que o aluno seja capaz de reconhecê-las. Nessa DI, o professor deve montar o circuito da Fig. 4 e colocar a seguinte pergunta:

*Qual(is) a(s) sua(s) opinião(ões)? Quando a chave estiver aberta, como será o brilho das lâmpadas A, B e C da Fig. 4? O brilho das lâmpadas A, B e C (Fig. 4) muda quando a chave é fechada? Em caso afirmativo, como?*

Nesse circuito (Fig. 4), a maior parte dos alunos prevê erroneamente que o brilho da lâmpada A não se altera com o fechamento da chave.

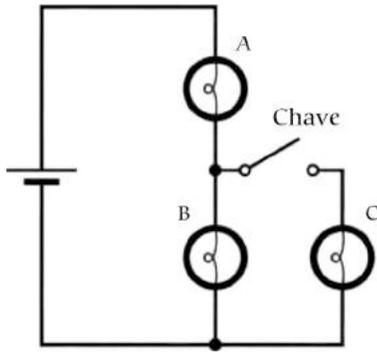


Figura 4 - Circuito misto, com três lâmpadas e uma chave.

### 3.5. Curto-circuito

Agora, com os conceitos de ligações em série e em paralelo assimilados, podemos focar em outro conceito de difícil compreensão pelos alunos. Temos observado que muitos alunos têm dificuldades com o conceito de curto-circuito, por isso propomos as perguntas e o experimento a seguir:

*Qual(is) a(s) sua(s) opinião(ões)? Quando a chave é fechada entre os pontos 1 e 2, o brilho das lâmpadas A, B e C da Fig. 5 muda? Como? E agora como serão os brilhos dessas três lâmpadas quando a chave for colocada entre os pontos 2 e 3 da Fig. 5?*

Sugerimos ainda, para que seja bem apreendido o conceito de curto-circuito, a realização de mais um experimento, em que o professor pode conectar três lâmpadas em um circuito misto (como o da Fig. 6), e para tal sugerimos a seguinte pergunta:

*Qual(is) a(s) sua(s) opinião(ões)? Quando um fio for conectado entre os pontos 2 e 3, como será o brilho das lâmpadas A, B e C da Fig. 6? E agora como serão os brilhos dessas 3 lâmpadas quando o fio for colocado entre os pontos 1 e 2 da Fig. 6?*

É claro que podem ser feitas muitas variações interessantes de experimentos com lâmpadas e resistências. A seguir propomos duas dessas demonstrações.

### 3.6. Comparando resistências

Nesse momento, no intuito de se comparar resistências, propomos que o professor monte simultaneamente dois circuitos, cada qual com uma resistência diferente (Fig. 7). Por exemplo,  $R_x = 47 \Omega$  e  $R_y = 100 \Omega$ . Sugerimos então a seguinte questão:

*Qual(is) a(s) sua(s) opinião(ões)? Compare, com base em suas observações, as resistências dos elementos X e Y da*

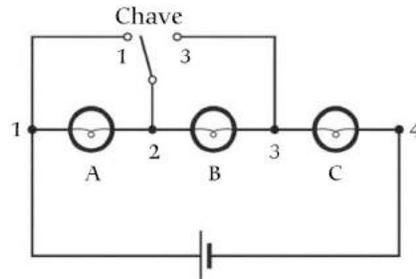


Figura 5 - Circuito com três lâmpadas e uma chave (que na prática pode ser substituída por um fio) que pode ser ligada entre os pontos 1 e 2 e entre os pontos 2 e 3.

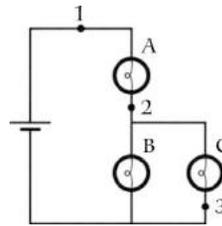


Figura 6 - Circuito misto.

*Fig. 7. Agora compare, para cada circuito, a corrente na lâmpada com a corrente no elemento desconhecido. Compare também, em cada circuito, a corrente na lâmpada com a corrente na bateria. Finalmente, qual circuito apresenta a maior resistência?*

Desse modo, os estudantes podem perceber que diferentes resistências afetam de formas diferentes os brilhos das lâmpadas. Assim, para que seja melhor observado tal conceito, propomos a realização do próximo experimento.

### 3.7. Potenciômetro

No experimento da Fig. 8, propomos que o professor utilize um potenciômetro para variar a resistência do circuito a fim de demonstrar como o brilho pode ser continuamente variado. Nesse estudo, sugerimos que se monte um circuito composto por duas lâmpadas idênticas, um resistor e um potenciômetro ( $P_{13}$ ). Para tal, propomos a seguinte pergunta:

*Qual(is) a(s) sua(s) opinião(ões)? Compare o brilho das lâmpadas A e B da Fig. 8 quando aumentamos gradualmente a resistência do potenciômetro. Ao igualarmos os brilhos das lâmpadas A e B (Fig. 8), como se comparam os valores de  $R_A$  e  $P_{13}$ ?*

Assim, os alunos podem perceber que conforme o potenciômetro é ajustado, de forma a aumentar a resistência, o brilho das lâmpadas diminui e vice-versa. Como atividade lúdica, o professor

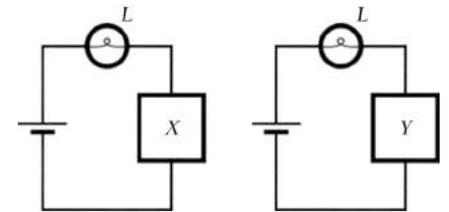


Figura 7 - Circuitos compostos de lâmpadas em série com elementos desconhecidos.

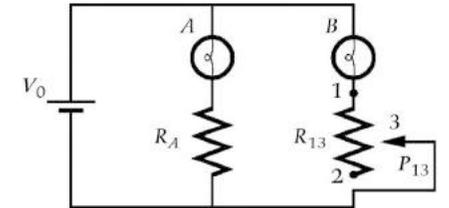


Figura 8 - Circuito elétrico com potenciômetro  $P_{13}$ .

pode propor que os alunos indiquem a posição do potenciômetro em que o brilho das lâmpadas é idêntico e depois comparar com os valores medidos com o ohmímetro. Na prática, os valores estimados visualmente devem estar próximos, dentro de ~20%.

### 4.5. Considerações finais

Neste trabalho apresentamos algumas DI inspiradas na metodologia da aprendizagem investigativa, abordando os circuitos série, paralelo e misto com elementos de valores iguais, diferentes e variáveis. Inserimos, também, experimentos referentes ao conceito de curto-circuito, que pouco é abordado em aula ou em materiais didáticos e que geram muita confusão para os alunos. Essas DI buscam abordar as principais dificuldades conceituais de cada tópico, sendo assim uma alternativa à abordagem tradicional teórica ou experimental. Pretendemos qualificar a aprendizagem conceitual dos estudantes, promovendo a comparação entre suas crenças e a realidade física.

Enfatizamos também os experimentos qualitativos, pois, em nossa opinião, eles devem preceder as abordagens quantitativas, tanto de demonstrações quanto de exercícios. Entretanto, demonstrações quantitativas também podem ser feitas usando multímetros digitais para medidas de corrente e tensão, tal como mostrado por Silva [9]. Finalmente, as atividades propostas podem ser usadas em aulas experimentais em que os próprios alunos manipulam os experimentos.

## Referências

- M.S.T. Araújo e M.L.V.S. Abib, Revista Brasileira de Ensino de Física **25**, 176 (2003).
- C.H. Crouch, A.P. Fagen, J.P. Callan and E. Mazur, Am. J. Phys. **72**, 835 (2004).
- A.M.P. Carvalho (coord.), C.M.A. Oliveira, D.L. Scarpa, L.H. Sasseron, L. Sedano e cols., in: *Ensino de Física* (Cengage Learning, São Paulo, 2010), p. 53-78.
- A.M.P. Carvalho, (coord.), E.C. Ricardo, L.H. Sasseron, M.L.V.S. Abib, M. Pietrocola, *Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula* (Cengage Learning, São Paulo, 2013), p. 1-20.
- L.C. McDermott, Am. J. Phys. **59**, 301 (1991).
- D.R. Sokoloff and R.K. Thornton, Phys. Teach. **35**, 340 (1997).
- K. Miller, N. Lasry, K. Chu and E. Mazur, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **9**, 020113 (2013); DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.9.020113
- J. Evans, Phys. Teach. **16** (1), 15 (1978).
- M.C. Silva, Física na Escola **12** (1), 16 (2011).
- B. Mitchell, R. Ekey, R. McCullough and W. Reitz, Phys. Teach. **56**, 75 (2018).
- L.C. McDermott, *Physics by Inquiry* (Wiley, New York, 1996), 1<sup>st</sup> ed., 823 p.
- L.C. McDermott and P.S. Shaffer, *Tutorials in Introductory Physics* (Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2002), 1<sup>st</sup> ed., 245 p.
- D.R. Sokoloff, P.W. Laws and R.K. Thornton, *RealTime Physics - Module 3: Electricity and Magnetism* (Wiley, Hoboken, 2011), 3<sup>rd</sup> ed., 175 p.
- P.F.T. Dorneles, I.S. Araujo e E.A. Veit, Revista Brasileira de Ensino de Física **28** (4), 487 (2006).
- C.E. Laburú, A.A. Gouveia e M.A. Barros, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **26** (1), 24 (2009).
- L.C. McDermott and P.S. Shaffer, Am. J. Phys. **60** (11), 994 (1992).
- G.G.G. Costa e T. Catunda, Investigação das dificuldades conceituais dos estudantes sobre circuitos elétricos. In: *Resumos do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, 2008, Curitiba. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0210-1.pdf>. Acesso em 21 fev. 2009.
- American Association of Physics, *Powerful Ideas in Physical Science: Electricity* (AIP, Maryland, 1996), 2<sup>nd</sup> ed., 358 p.
- G.G.G. Costa, R.C. Pietronero e T. Catunda, Revista Brasileira de Ensino de Física **35** (1), e1305 (2013).

## Anexo 1 Etapas de uma demonstração investigativa (DI)

Para a realização de uma DI, salientamos ser importante seguir a ordem dos seis passos descritos abaixo. É de fundamental importância que o aluno faça suas previsões antes que o experimento seja realizado, para que crie o hábito de pensar fisicamente e ao realizar discussões em grupo possa defender, confrontar e modificar suas ideias. Os passos sugeridos por Sokoloff e Thornton [6] são:

O professor pode descrever a demonstração e colocar uma questão a respeito dela.

É solicitado aos alunos realizar suas previsões individuais e as registrar em suas folhas de previsões, respondendo à pergunta: “Qual a sua opinião?”.

Os estudantes devem realizar discussões sobre suas previsões, em pequenos grupos (duas ou três pessoas), e tentar buscar um consenso. Tal discussão é feita respondendo-se à pergunta: “Qual a opinião do seu grupo?”. Em seguida as opiniões dos alunos podem ser anotadas no quadro, para que seja realizada uma breve discussão.

O professor realiza as demonstrações, porém inicialmente não deve comentar, descrever ou interpretar os resultados do experimento.

Os alunos devem comparar suas previsões com os resultados observados na prática, respondendo às perguntas: “Suas opiniões estavam de acordo com o experimento?” e “E as opiniões do seu grupo estavam de acordo com o experimento?”. Inicialmente, o papel do professor deve ser o de guiar a discussão, destacando as diferentes opiniões dos alunos, se for o caso.

Finalmente, o professor pode finalizar a discussão, fornecendo as explicações, conceitos, generalizações etc.

## Anexo 2 Principais concepções alternativas sobre circuitos elétricos

Muitos estudantes possuem concepções alternativas, também denominadas concepções prévias ou espontâneas, sobre os conceitos físicos que geralmente estão atreladas ao conhecimento adquirido anteriormente à educação formal. Porém, essas concepções nem sempre correspondem ao conhecimento cientificamente aceito. Dessa maneira, as atividades investigativas devem ser planejadas para que os estudantes confrontem a realidade física com suas crenças [2]. Tal confronto é conhecido como desequilíbrio [4].

Existe uma ampla literatura sobre as concepções alternativas dos diversos conteúdos da física. Segundo McDermott e Shaffer [16], as principais dificuldades e concepções dos estudantes sobre circuitos elétricos são:

Dificuldades em distinguir as diferenças entre os conceitos de corrente, diferença de potencial, energia e potência.

Falta de experiência concreta com circuitos reais.

Dificuldades para entender e aplicar o conceito de circuito simples.

Crença de que a direção da corrente e a ordem dos elementos são importantes.

Crença de que a corrente é consumida no circuito.

Crença de que a bateria é uma fonte de corrente constante.

Dificuldades em reconhecer que a bateria ideal mantém constante o potencial entre os terminais.

Dificuldades para distinguir a diferença entre os ramos conectados em paralelo através da bateria e os ramos conectados em paralelo em outros lugares.

Dificuldades em reconhecer potencial e diferença de potencial.

Falha em distinguir entre a resistência equivalente de uma rede e a resistência de um elemento individual.

Dificuldades para identificar conexões em série e em paralelo.

Dessa forma, acreditamos que, após passarem pelas DI, espera-se que os estudantes possam demover suas concepções alternativas e desenvolver as seguintes concepções [18]:

A eletricidade deve ser compreendida como um conjunto de fenômenos explicáveis em termos de interações e movimento de cargas que parecem já existir em fios, através dos quais elas se movem.

A corrente é associada com a taxa de passagem de cargas.

As lâmpadas não consomem cargas, mas agem como resistência à passagem destas.

As cargas se movem em resposta às forças, que são como as forças que agem entre objetos carregados, porém num circuito completo essa influência sobre o movimento das cargas é atribuída à voltagem ou diferença de potencial fornecida por uma bateria ou outro dispositivo acumulador de cargas tais como um capacitor. [16]

As baterias não criam as cargas, elas já estão lá; todavia, elas movem cargas.

Existe uma relação entre corrente, resistência e voltagem. Comumente, as pessoas percebem que quanto maior o esforço, maior o resultado, e que quanto maior é a resistência, menor o resultado, com resistência e esforço mantidos constantes, respectivamente. Essa noção “ôhmica” sobre a relação entre esforço, resultado e resistência parece se transferir completa e facilmente à situação elétrica para os estudantes. Assim, quanto maior a corrente maior é a voltagem, para uma resistência constante. E, quanto a maior resistência menor a corrente, para uma voltagem constante.

O comportamento e a distinção entre as configurações paralela e série de um circuito ocorre ao se observar que cargas passando através dos elementos do circuito devem também passar através de um novo elemento que seja inserido nesse circuito.

E nesse processo de aprendizagem o professor ganha papel fundamental, no sentido de fazer com que os alunos cheguem às conclusões corretas e a partir dessas conclusões, criadas por eles mesmos, o conceito físico torna-se mais bem assimilado.

### **Anexo 3 Componentes sugeridos para o quadro de eletricidade**

Fonte de tensão variável de 12 V (500 mA, 6 W), 3 lâmpadas de 6 V (~ 0,36 W) e 12 V, lâmpada baioneta de 12 V, resistências de 10  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 150  $\Omega$ , 330  $\Omega$  e 470  $\Omega$ , potenciômetro de 200  $\Omega$ /3 W, capacitores 0,1 F/5,5 V e 0,22 F/5,5 V, LDR 2K2 $\Omega$  (LDR nome comercial de *light dependent resistor*), leds, diodos, cabos, elementos para curto-circuito (fios), conjunto para elementos variados, chaves manuais para curto-circuito e multímetro.

# Discutindo a curvatura da Terra em sala de aula

.....  
**Marcelo Girardi Schappo\***  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, São José, SC, Brasil

## RESUMO

Ao mesmo tempo em que se comemoram 50 anos do primeiro pouso tripulado na Lua, há quem defenda que a forma do planeta Terra é plana. Este artigo explora como o tema pode ser tratado em sala de aula, com uso de geometria básica do ensino médio, visando gerar reflexão entre os alunos e deixá-los mais preparados contra esse tipo de pseudociência. Será apresentada uma estrutura matemática simples e discutido como ela é eficiente para decidir acerca do modelo esférico da Terra no que se refere ao afastamento de navios em direção ao horizonte.

**Palavras-chave:** pseudociências; Terra plana; curvatura da Terra; ensino de física

.....

## 1. Introdução

**E**m julho de 2019, ocorreu uma comemoração importante para a humanidade: o aniversário de 50 anos da primeira missão tripulada capaz de fazer um pouso suave e controlado na superfície da Lua. Paradoxalmente, ao mesmo tempo, professores de física encontram-se em uma situação peculiar em sala de aula: alunos que vêm com ideias cientificamente esdrúxulas sobre a alegada *planicidade* do nosso planeta. E pior: de acordo com o documentário *Behind the Curve* (traduzido como *A Terra é Plana*) [1], lançado em 2018, as proporções desse fenômeno estão crescendo e os adeptos desse tipo de ideia vêm aumentando significativamente.

Uma crítica interessante que aparece no documentário, apontada pelos cientistas que participaram das entrevistas e sobre a qual vale uma reflexão por parte dos professores é que talvez as pessoas estejam aceitando mais facilmente as ideias de Terra plana porque a existência de curvatura na Terra se tornou um fato tão “óbvio” para a sociedade atual que ninguém mais se dá ao luxo de discutir as razões que levaram a humanidade a acreditar, baseada em diversas evidências e medidas, que a Terra é redonda. Esse apontamento parece também ser compartilhado por quem não é físico, como é o caso do jornalista Carlos Orsi, ao escrever para a *Gazeta do Povo* [2]. É preciso, portanto, discutir esse assunto. Antes que se pense que o “terrapiplano” é problema apenas de cidadão norte-americano, vale conferir duas matérias: uma publicada pela BBC, em 2017, mostrando o que pensam os

brasileiros que acreditam nessas mesmas ideias [3], e outra trazendo resultados de uma pesquisa de 2019 indicando que 7% dos brasileiros acreditam que a Terra é plana, enquanto 4% não sabem qual é o formato do planeta [4].

Aceitando a crítica do documentário, será que nós, professores de física, podemos executar ações com o intuito de mitigar esse efeito? A resposta é um sonoro *sim*. Vide, por exemplo, material disponibilizado pelo Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF, vinculado ao Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul) em seu sítio eletrônico intitulado “Pergunte ao CREF” [5, 6]. Em um deles, uma descrição histórica sobre como Eratóstenes conseguiu chegar a valores muitos bons para a circunferência da Terra por volta do ano 200 a.C. No outro, uma discussão sobre como as imagens espaciais produzidas pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) apenas *corroboram* o que já se sabia antes mesmo da fundação da agência.

A própria revista *A Física na Escola*, em 2015, publicou um artigo do professor Fernando Lang que tratou de explicar vários aspectos históricos, desde a Antiguidade, sobre a construção do conhecimento que nos levou a concluir que a Terra, definitivamente, não é plana [7]. Vale citar, ainda, esforços presentes em vídeos na internet [8, 9] e matérias em revistas [10, 11] abordando o tema e que podem ser facilmente acessados por professores e alunos para discussão em sala de aula.

Nesse ínterim, este artigo se propõe a trazer o assunto à tona nas salas de aula de física e matemática da

**Enquanto em julho de 2019 comemorava-se os 50 anos do pouso na Lua, professores recebiam dos alunos perguntas sobre a planicidade do planeta Terra**

\*Autor de correspondência. E-mail: marceloschappo@hotmail.com.

educação básica. Sem rejeitar os demais materiais publicados, o objetivo principal que aqui se apresenta é mostrar que, com relações geométricas simples da matemática da educação básica, é possível calcular o “desnível” entre pontos localizados na superfície de uma esfera. Depois, com o auxílio de imagens de navios no horizonte, pode-se checar se os resultados obtidos são mais coerentes com uma ideia de Terra plana ou esférica. Assim, fazemos deste processo mais uma ferramenta à disposição de professores interessados no tema.

Caso as ideias de Terra plana ainda não tenham invadido sua sala de aula, ainda assim é válido mostrar experimentos e ideias como a que aqui está descrita; afinal, elas podem agir como um *remédio preventivo*, deixando os estudantes menos aptos a se influenciarem por ideias absurdas como essa em pleno século XXI.

## 2. Efeito de curvatura da Terra

As ideias matemáticas da curvatura do planeta permitem levar a um efeito curioso e interessante: quando se marcam dois pontos quaisquer (A e B) sobre a superfície de uma esfera, haverá entre eles um “desalinhamento” vertical ( $y$ ), sendo esse valor dependente do raio da esfera ( $R$ ) e da distância que separa os pontos pela superfície da mesma ( $S$ ). O esquema está representado na Fig. 1.

Existem, na rede, diversas calculadoras on-line que fornecem o valor de  $y$  rapidamente após o usuário informar o valor de  $S$ . Estão disponíveis desde calculadoras mais simples [12, 13] até modelos mais elaborados que podem considerar até mesmo o efeito da interação da luz com a atmosfera [14]. Apesar

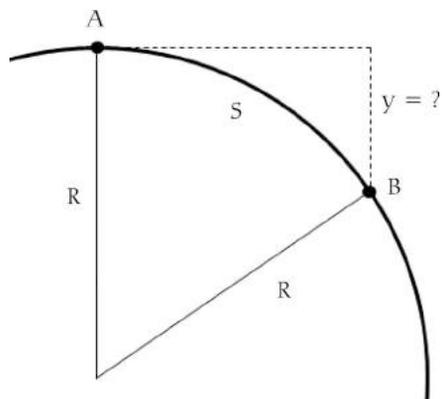


Figura 1 - Desalinhamento vertical entre pontos na superfície de uma esfera.

dessas úteis ferramentas à disposição, é muito interessante mostrar aos alunos que eles podem utilizar geometria simples discutida no ensino médio para chegar a uma equação para  $y$  em função de  $R$  e  $S$ . É com base nessa proposta que discutiremos a seguir.

A Fig. 2 mostra definições matemáticas úteis a partir da Fig. 1. Nela, definiremos  $\theta$  e  $L$ , sendo  $\theta$  o ângulo de abertura do arco de comprimento  $S$  e  $L$  o cateto adjacente ao ângulo  $\theta$  no triângulo retângulo formado.

A relação entre  $R$ ,  $y$  e  $L$  é imediata:

$$y = R - L. \quad (1)$$

A partir da trigonometria do triângulo retângulo, tem-se que:

$$L = R \cdot \cos\theta. \quad (2)$$

Substituindo-se a Eq. (2) na Eq. (1), chega-se a:

$$y = R - R \cdot \cos\theta = R \cdot (1 - \cos\theta). \quad (3)$$

Por fim, para determinar o ângulo  $\theta$ , pode-se recorrer à relação entre raio, comprimento de arco e ângulo de abertura:

$$\begin{aligned} S &= R \cdot \theta. \\ \theta &= \frac{S}{R}. \end{aligned} \quad (4)$$

Finalmente, substituindo-se  $\theta$  na Eq. (3) pela expressão obtida na Eq. (4), chega-se à relação desejada entre  $y$ ,  $S$  e  $R$ :

$$y = R \cdot [1 - \cos(S/R)]. \quad (5)$$

Considerando o raio da Terra como 6.400 km, alguns resultados foram computados para o desnível  $y$  de dois pontos separados por algumas distâncias  $S$  indicadas na Tabela 1.

Vale destacar algumas observações quando desse resultado em sala de aula:

1. O valor de  $S$  deve ser considerado sobre um arco de *círculo máximo*,

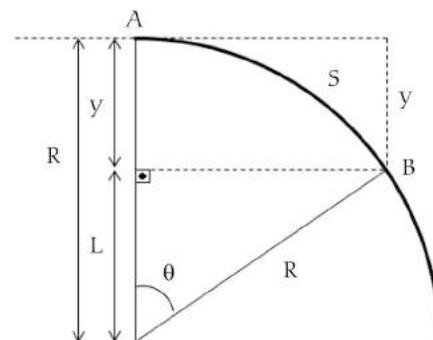


Figura 2 - Definições de parâmetros matemáticos de interesse.

Tabela 1: Valores calculados de  $y$  em função de  $S$ .

S	10 km	100 km	1000 km
y	7,8 m	780 m	78 km

pois o raio considerado para ele é o mesmo raio do planeta. Veja que, eventualmente, podemos ter dois pontos sobre um arco de *paralelo geográfico* (mesma latitude), mas, nesse caso, o arco entre os dois pontos não tem o mesmo raio do planeta. A partir da geometria esférica, a menor distância entre dois pontos em sua superfície será um arco de circunferência máxima, ou seja, através da borda de um círculo máximo que passe por eles [15]. Sempre será possível desenhar um arco de círculo máximo entre os dois pontos considerados, pois é sempre possível definir um plano a partir de 3 pontos não colineares (A, B e o centro da esfera). A intersecção entre o plano formado e a superfície esférica é uma circunferência de raio igual ao raio do planeta.

2. Para o cálculo de valores de  $y$  com auxílio de calculadoras científicas com os alunos, é interessante chamar a atenção para configurar a unidade do ângulo  $\theta$  em *radianos* e não em *graus*, especialmente se os alunos não estão familiarizados com essas calculadoras. Existem também calculadoras científicas disponíveis na internet [16].
3. Pode parecer óbvio aos professores, mas não a todos os alunos, o fato de que a relação entre  $y$  e  $S$  não é linear. Portanto, não é possível calcular uma *regra de três simples* para obter valores intermediários àqueles apresentados na Tabela 1 (o que pode ser bastante tentador...). Por outro lado, vale o comentário curioso de que uma função quadrática do tipo apresentado abaixo consegue descrever com boa aproximação a relação entre  $y$  e  $S$ .

$$y \cong 0,078 \cdot S^2. \quad (6)$$

Pode-se sugerir aos alunos que apliquem as Eqs. (5) e (6) para diferentes valores de  $S$  com o intuito de verificar até que distância entre os pontos A e B a concordância entre ambos os modelos é boa.

### 3. Navios no horizonte e discussão para a sala de aula

Em sala de aula, evitando iniciar o tema aqui proposto com o cálculo excessivo de uma série de “equações sem sentido”, pode-se começar a discussão perguntando o que os estudantes esperam observar enquanto um navio se afasta da costa rumo ao horizonte. Em algum momento, após o início do debate de ideias, o professor pode mostrar imagens e vídeos do processo, para levar a novas reflexões e comentários por parte dos alunos. O professor terá a oportunidade, nesse momento, de verificar se as ideias dos alunos são, ou não, condizentes com o fato amplamente conhecido de que a Terra é esférica e, por isso, um navio se afastando no horizonte deve ter sua parte *superior* desaparecendo por último, enquanto o casco deve ser a primeira parte a sumir completamente.

Como problema motivador para a sequência da aula, pode-se questionar sobre “qual deve ser a distância a que um navio deve estar para que seu casco desapareça completamente?” ou “a que distância deve se encontrar para que esteja totalmente abaixo do horizonte visível?”. E ainda “será que nossa matemática do ensino médio é capaz de resolver essa questão?”.

Uma provocação interessante de se fazer é tentar desafiá-los a imaginar o que deveria acontecer se a Terra fosse, efetivamente, plana... A resposta é que o navio deveria diminuir seu tamanho

aparente à medida que vai ao longe, mas não deveria “sumir em pedaços”, como se espera no modelo de Terra esférica. À medida que se afastasse, iria diminuindo continuamente até ficar pequeno o suficiente para que não mais fosse resolvido pelos nossos olhos, ou que a própria extinção da luz na atmosfera tornasse sua imagem tão tênue que nem mais poderia ser percebida em contraste com o horizonte.

A Fig. 3, disponível na internet [17], é um exemplo de material que pode gerar discussão sobre o tema em sala de aula. Nela, aparecem três navios com as distâncias em milhas náuticas indicadas. Percebe-se claramente que o navio mais próximo, *Energy Panther*, está inteiramente visível (ou, pelo menos, a parte invisível inferior do casco é insignificante para ser notada na figura), ao passo que o mais distante, *Huangyan Spirit*, só pode ser observado parcialmente: enquanto o casco desapareceu, estão visíveis apenas o passadiço e três torres de guindaste, tudo na parte superior do navio.

Uma figura como essa ainda pode ser um bom *juiz* ao final da aula para decidir se os cálculos executados anteriormente para o desnível  $y$  estão corretos. Por exemplo, uma pesquisa sobre o navio *Huangyan Spirit* na rede permite encontrar uma fotografia dele e também dados de comprimento e largura, sendo, respectiva e aproximadamente, 160 m e 25 m. Por questões de direitos autorais da imagem, ela não será repro-

duzida neste artigo, porém tanto a imagem quanto os dados dimensionais podem ser encontrados em um *site* especializado em frotas marítimas [18]. Como a altura fora da água não é dada nas informações do navio e esse valor também depende da carga transportada, é possível usar a imagem do navio para *estimar* que, considerando a largura do casco de 25 m, é razoável supor que a altura do casco fora da água deva ser também algo da ordem de 20 m.

Agora, de posse da informação de distância de 9,9 milhas náuticas, o que corresponde a cerca de 18 km, podemos utilizar a Eq. (5) e obter um valor de  $y$  de 25 m. Esse valor está dentro do que é esperado como *razoável* para altura do casco, por estimativa, o que explica de forma satisfatória o porquê de a Fig. 3 apresentar apenas a parte superior do navio.

Assim sendo, a Eq. (5), obtida de modo relativamente simples com o uso de matemática comumente discutida na educação básica, foi uma ferramenta eficaz para chegar a resultados coerentes com o que se encontra em fotografias disponíveis na rede que exemplificam, de modo completamente independente, o fenômeno de afastamento de um objeto no horizonte quando se considera um modelo de Terra esférica.

### 4. A distância do horizonte

Na mesma linha de raciocínio geométrico desenvolvido neste artigo,



Figura 3 - Navios a diferentes distâncias do observador, adaptada<sup>1</sup> da Ref. [17].

outra abordagem possível com os alunos é questionar “a que distância de um observador fica o seu horizonte?”. Num modelo de Terra esférica, quanto mais alto estiver o observador, mais longe dele estará o horizonte, o que não aconteceria se a Terra fosse plana. De fato, a relação matemática entre a distância do horizonte ao observador ( $D$ ) e a altura do observador em relação à superfície da esfera ( $h$ ) pode ser encontrada por aplicação simples do Teorema de Pitágoras [19], que, no caso em que  $h \ll R$ , será

$$D \cong \sqrt{2 \cdot h \cdot R}. \quad (7)$$

Destaca-se, portanto, que se a Terra for esférica, observadores em posições mais elevadas terão o horizonte mais afastado. O professor pode explorar a discussão lembrando que esse fato é usado em diferentes situações práticas, como o posto de observação dos navios antigos estar no topo do mastro e não no convés. Além disso, os *faróis* de sinalização marítima também são construídos no alto de torres com dezenas de metros de altura [7, 20].

Ainda, ao se analisar a Fig. 3, pode-se considerar que o navio *Energy*

*Panther* encontra-se, aproximadamente, no limite do horizonte da câmera que fez a fotografia. Sendo a distância dele de 6,5 nm (aproximadamente 12 km), é possível aplicar a Eq. (7) e estimar que a câmera estava em uma altura em torno de 10 m em relação ao nível do mar quando fotografou os navios. Vídeos disponíveis na rede também auxiliam no debate sobre a variação da distância do horizonte com a altura [21].

## 5. Considerações finais

Existem ainda outras maneiras de abordar o problema e discutir a curvatura da Terra em sala de aula. Uma delas considera o ponto de vista histórico, a partir da apresentação e do debate do experimento de Eratóstenes, envolvendo varetas, sombras e a luz do Sol [22]. Como, em geral, essa abordagem histórica é a mais conhecida, este artigo mostrou que com fotografias disponíveis na rede e um pouco de matemática do ensino médio também é possível chegar às mesmas conclusões sobre o fato de a Terra ser redonda.

Na abordagem da problemática aqui discutida também podem ser ex-

ploradas as ideias de *modelização* no ensino de ciências. Modelos são sempre descrições simplificadas da natureza com o intuito de descrevê-la teoricamente da melhor maneira possível. Assim sendo, pode ser interessante escolher uma série de fatos conhecidos sobre fenômenos da natureza e gerar um debate sobre qual dos dois modelos simplificados de planeta Terra é o mais apropriado para descrevê-los. Por exemplo: ocorrência de dia e noite, solstícios e equinócios, gravidade, eclipses etc.

A lição final é que, independentemente da abordagem escolhida, vale a pena levar o assunto para a sala de aula. Querendo-se formar cidadãos críticos e atuantes na sociedade atual, torna-se essencial mostrar que os conhecimentos advindos da física e da matemática da educação básica são suficientes para que eles mesmos verifiquem a curvatura da Terra e tomem uma decisão acertada quando se depa-rem com conteúdos pseudocientíficos como esses que defendem que nosso planeta não passa de uma grande superfície plana em formato de disco...

## Referências

- [1] D.J. Clark (direção), *Behind the Curve*. Delta-V Productions, 2018. (95 min.).
- [2] C. Orsi, *Dez Argumentos para Refutar Quem Acha que a Terra é Plana*. Gazeta do Povo, abr. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2YnDNOA>, acesso em 8/4/2019.
- [3] M. Alvim, *Quem São e o Que Pensam os Brasileiros Que Acreditam Que a Terra é Plana*. BBC Brasil, São Paulo, set. 2017. Disponível em <https://bbc.in/2Kr878w>, acesso em 8/4/2019.
- [4] Gazeta do Povo, *11 Milhões de Brasileiros Acreditam Que a Terra é Plana, Mostra Pesquisa*. Gazeta do Povo, julho 2019. Disponível em <https://bit.ly/2JGzg4B>, acesso em 29/7/2019.
- [5] F.L. Silveira, *Refutando a Terra Plana*. Centro de Referência para o Ensino de Física. Dez. 2015. Disponível em <https://bit.ly/32VICCc>, acesso em 1/7/2019.
- [6] F.L. Silveira, *Como Eratóstenes Mediu 7° entre Assuã e Alexandria Para Achar a Circunferência da Terra?* Centro de Referência para o Ensino de Física. Jan. 2015. Disponível em <https://bit.ly/2MxP8JR>, acesso em 1/7/2019.
- [7] F.L. Silveira, *Física na Escola* **15**(2), 4, 2017.
- [8] *Terra plana – Paraquedista Desbanca Terra Plana*. Maio 2017. Disponível em <https://bit.ly/2K37W1S>, acesso em 1/7/2019.
- [9] Fábrica de Noobs, *Desmistificando: Teoria da Terra Plana*. Junho 2017. Disponível em <https://bit.ly/2GACGVM>, acesso em 1/7/2019.
- [10] G. Eler, *Super Interessante*, **Out. 2017**, disponível em <https://bit.ly/2z8PZux>, acesso em 1/7/2019.
- [11] BBC Brasil, *Como Seria o Mundo se a Terra Fosse Realmente Plana, Segundo a Ciência*. BBC Brasil, São Paulo, fev. 2018. Disponível em <https://bbc.in/2EcUEX7>, acesso em 1/7/2019.
- [12] *Earth Curvature Calculator*. Disponível em <http://earthcurvature.com/>, acesso em 1/7/2019.
- [13] *Earth Curve Calculator*. Disponível em <https://bit.ly/2Yv3Jf7>, acesso em 1/7/2019.
- [14] Walter Bislin's Blog-En, *Curvature App: Simulation of Globe-Earth and Flat-Earth*. Disponível em <https://bit.ly/2w9tEJZ>, acesso em 1/7/2019.
- [15] Wolfram website, *Great Circle*. Disponível em <https://bit.ly/2yjR5B4>, acesso em 8/4/2019.
- [16] Mathsisfun website, *Scientific Calculator*. Disponível em <https://bit.ly/2SPZZzM>, acesso em 8/4/2019.
- [17] Figura disponível em <https://bit.ly/2Y9pCRS>, acesso em 8/4/2019.
- [18] Marine Traffic, Disponível em <https://bit.ly/32YknDk>, acesso em 8/4/2019.
- [19] Giga Matemática website, *Qual a Distância da Linha do Horizonte?* Março 2013. Disponível em <https://bit.ly/2K0DQvR>, acesso em 1/7/2019.
- [20] F.L. Silveira, *Alcance dos faróis no mundo real e na mítica Terra Plana*. Centro de Referência para o Ensino de Física. Nov. 2017. Disponível em <https://bit.ly/2ZeQEns>, acesso em 29/7/2019.
- [21] *Lakeway Center Elevator*. Março 2018. Disponível em <https://bit.ly/2OqK6Br>, acesso em 1/6/019.
- [22] A.J.J. Santos, M.R. Voelzke e M.S.T. Araújo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **29**, 1137 (2012).

## Nota

<sup>1</sup>Corrigida a grafia de um dos navios da figura.

# Espalhamento Rayleigh e efeito Tyndall: Explicando e simulando o azul do céu

.....

**A.V. Andrade-Neto**

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

**Brenda Pinheiro Carneiro\***

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

**Maíra Paixão**

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

## RESUMO

*Neste trabalho revisitamos o experimento de espalhamento da luz em uma cuba d'água que simula a cor azul do céu e os tons vermelho e alaranjado do nascer e do pôr do sol na atmosfera terrestre. Além da observação experimental do espalhamento da luz, principal mecanismo que causa o azul do céu, observamos também a polarização da luz espalhada e a absorção da luz pelo meio. Essas observações são acompanhadas de uma discussão detalhada dos conceitos físicos envolvidos. Em particular, chamamos a atenção para o fato de que o principal mecanismo de espalhamento no experimento realizado é o efeito Tyndall e não o espalhamento Rayleigh.*

**Palavras-chave:** azul do céu; espalhamento Rayleigh; efeito Tyndall

.....

## 1. Introdução

**E**m um dia claro de sol, com poucas nuvens, podemos vislumbrar um lindo céu azul em meio a algumas nuvens brancas. Já no nascer e no pôr do sol, na direção em que o sol nasce ou se põe, respectivamente, o céu adquire tons de vermelho e alaranjado. Qual a explicação para esses fenômenos? De acordo com a física, isso resulta do espalhamento da luz por moléculas da atmosfera terrestre (veja a seção 2 para mais detalhes).

É bem conhecido que esses fenômenos podem ser simulados por um experimento simples e de baixo custo em ambiente escolar ou em espaço não formal [1, 2]. O experimento consiste, basicamente, em pingar algumas gotas de leite em uma vasilha transparente que contém água e iluminar o sistema com uma fonte de luz, observando a luz espalhada pela solução leite-água. O espalhamento é apenas um dos variados e interessantes fenômenos físicos que têm origem na interação entre a luz e a matéria, dentre os quais podemos citar a absorção, a dispersão e efeitos de polarização, dentre muitos outros.

Do ponto de vista da física clássica, a luz é uma onda eletromagnética cujo comportamento é descrito pelas equações de Maxwell [3]. A natureza ondulatória da luz foi demonstrada em 1801 pelo físico inglês Thomas Young, o qual verificou experimentalmente que a luz, sob condições apropriadas, apresenta interferência, que é um efeito tipicamente ondulatório. A natureza eletromagnética da luz foi evidenciada em 1865, quando o escocês James Clerk Maxwell previu teoricamente a existência de ondas eletromagnéticas transver-

sais que se propagam no vácuo à velocidade da luz. Esse caráter transversal significa que a luz possui propriedades distintas para diferentes direções perpendiculares à direção de propagação. Essa propriedade da luz é chamada “polarização”. Quando o campo elétrico da onda vibra em uma direção que se mantém fixa, dizemos que a onda é linearmente polarizada. Contudo, a luz solar ou a luz de fontes comuns tais como lâmpadas, não é polarizada. Essas fontes possuem um número extremamente elevado de moléculas que emitem luz polarizada aleatoriamente em todas as direções transversais possíveis. A luz assim produzida é chamada luz natural ou luz não-polarizada, a qual torna-se linearmente polarizada ao atravessar um filtro polarizador, como mostra o esquema da Fig. 1. As flechas indicam o sentido de vibração do campo elétrico da onda.

**O azul do céu tem origem no espalhamento da luz do Sol por moléculas presentes na atmosfera terrestre.**

Além da polarização linear, a luz pode ser circularmente ou elipticamente polarizada. A Ref. [4] apresenta um experimento simples e interessante que envolve o conceito de polarização circular.

## 2. Espalhamento da luz: efeito Tyndall e espalhamento Rayleigh

Quando a luz incidente, após interagir com a matéria, é redirecionada em muitas direções diferentes, dizemos que ocorre espalhamento da luz. O espalhamento da luz fundamentalmente depende do comprimento de onda da luz incidente, do tamanho da partícula espalhadora e das propriedades óticas da partícula relativamente à sua vizinhança. Nesse processo, a luz é absorvida e rapidamente emitida (processos de espalhamento ocorrem em tempo da

\*Autor de correspondência. E-mail: brendapinheiroc@gmail.com

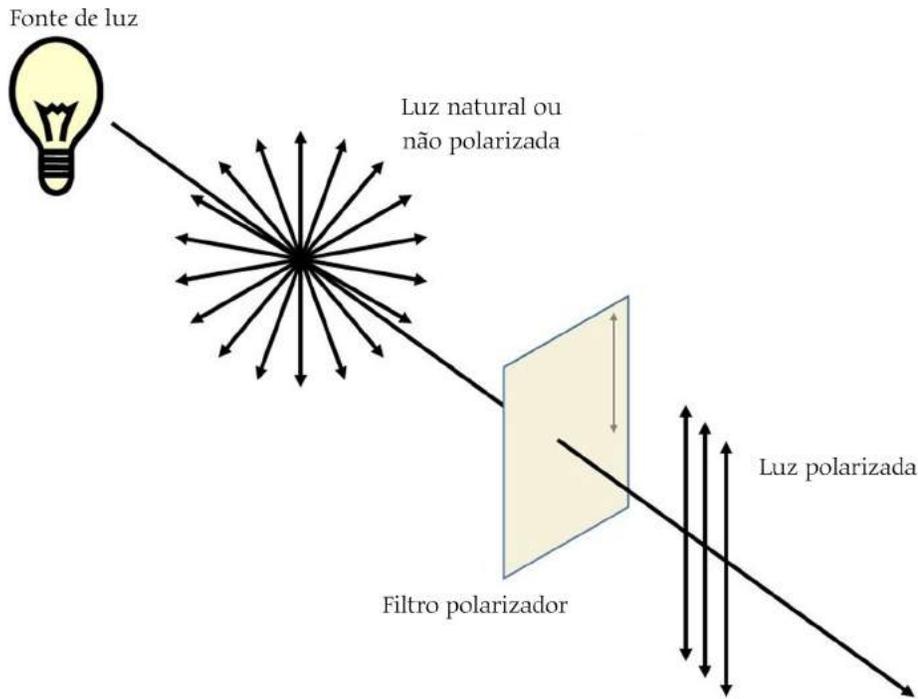


Figura 1 - Um feixe de luz natural (não polarizado) torna-se linearmente polarizado ao atravessar um filtro polarizador.

ordem de  $10^{-14}$  s ou ainda menores). A luz espalhada pode ter ou não a mesma frequência (energia) da luz incidente. No primeiro caso, falamos em espalhamento elástico da luz. Quando a frequência da luz espalhada é diferente da luz incidente, falamos em espalhamento inelástico da luz, também conhecido como espalhamento Raman. Para as finalidades do presente trabalho, é suficiente considerarmos apenas o espalhamento elástico da luz.

De maneira geral, o espalhamento elástico da luz é classificado em dois tipos, a depender do tamanho da partícula espalhadora: espalhamento Mie e espalhamento Rayleigh. Se as dimensões das partículas espalhadoras são da

mesma ordem ou maiores que o comprimento de onda da luz, o fenômeno é denominado espalhamento Mie, em homenagem ao físico alemão Gustav Mie. Para este caso, o espalhamento é fracamente dependente do comprimento de onda da luz incidente. Assim, a luz é espalhada de forma igual em todos os comprimentos de onda, resultando em um tom esbranquiçado na luz espalhada. Como as gotículas que formam as nuvens possuem raio da mesma ordem do comprimento de onda da luz visível, o espalhamento realizado por essas

**O espalhamento da luz na atmosfera pode ser simulado com um experimento de baixo custo em ambiente escolar ou em espaço não formal**

Uma contribuição importante para a explicação do azul do céu foi dada em 1871 pelo físico inglês Lord Rayleigh. Em seu modelo, Rayleigh considerou que as dimensões lineares das partículas espalhadoras são muito menores que o comprimento de onda da luz. Ele demonstrou que a intensidade da luz espalhada por gases é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda da luz incidente (ou diretamente proporcional à quarta potência da frequência da onda), ou seja,

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

Para a luz visível, o comprimento de onda está situado no intervalo entre 390 nm a 780 nm (1 nm corresponde a um bilionésimo do metro, ou seja,  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Logo, as componentes correspondentes a comprimento de onda menores do espectro luminoso (como o azul) serão muito mais espalhadas do que aquelas correspondentes a comprimentos de onda maiores (como o

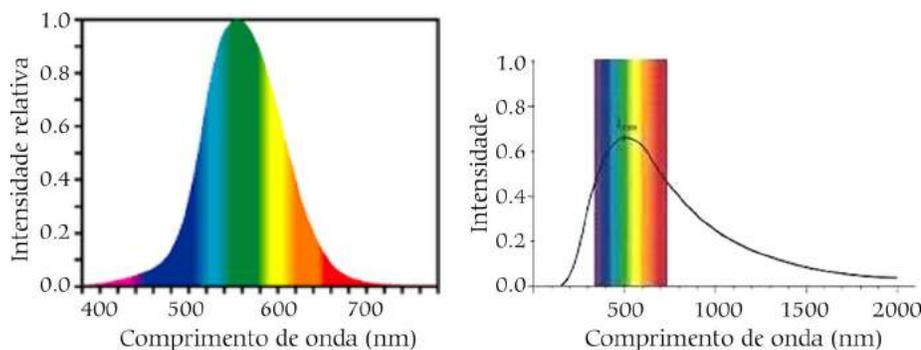


Figura 2 - (a) Gráfico que representa a sensibilidade relativa do olho humano para diferentes comprimentos de onda da luz visível. (b) Espectro da luz solar em função do comprimento de onda, com destaque para a região visível. Fonte: Wikipédia.

vermelho). Como  $\lambda_{\text{azul}} = 1,8 \lambda_{\text{vermelho}}$ , a luz azul do espectro solar é espalhada com intensidade aproximadamente 10 vezes maior que a componente vermelha. É sabido que o violeta possui uma frequência maior (comprimento de onda menor) que o azul e, portanto, é mais espalhado do que o azul. Então por que não enxergamos o céu violeta? A razão é que o olho humano é mais sensível ao azul do que ao violeta, como mostra a Fig. 2a. Outra razão é que a intensidade do espectro solar é maior no azul do que no violeta, conforme a Fig. 2b.

Considerando um ar limpo e seco (sem vapor d'água), os elementos mais abundantes presentes na atmosfera terrestre são o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%), ocupando assim quase 99% do volume do ar seco e limpo [5]. O tamanho típico dessas moléculas é da ordem de 0,1 nm, sendo, portanto, muito menores que o comprimento de onda da luz visível. Logo, o espalhamento dominante pelos gases que formam a atmosfera terrestre é do tipo Rayleigh. A luz do sol, ao incidir na atmosfera terrestre, irá interagir com as moléculas de  $N_2$  e  $O_2$ , produzindo luz espalhada em direção ao solo em um grande ângulo em relação à direção da luz incidente, como mostra a Fig. 3. Assim, quando olhamos para o céu, a luz que atinge nossos olhos é a luz espalhada pela atmosfera, com exceção daquela que vem diretamente do Sol. Isso significa que, se não existisse a atmosfera, o céu seria escuro também durante o dia, como acontece na Lua. Essa luz, de acordo com a lei de Rayleigh, será predominantemente percebida como azul, fornecendo o azul do céu.

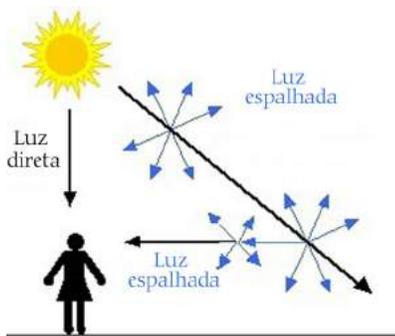


Figura 3 - Um observador na Terra recebe a luz que vem diretamente do sol (luz direta), bem como a luz que após interagir com as moléculas da atmosfera é espalhada em todas as direções (luz espalhada). É essa luz espalhada que fornece o azul do céu.

Por outro lado, no pôr do sol, a distância percorrida pela luz solar na atmosfera é maior do que em qualquer outro horário, já que nesse caso a maior parte da luz solar chega à superfície terrestre quase tangencialmente. Isso significa que a componente azul é tão espalhada que acabam sobrando apenas as componentes correspondentes a comprimentos de onda menores e, assim, vemos o céu nos tons vermelho e alaranjado. Do ponto de vista microscópico, o campo elétrico da luz incidente induz um momento de dipolo nas moléculas do ar, fazendo com que vibrem com a mesma frequência da radiação incidente, irradiando luz em todas as direções.

### 3. Materiais e procedimento experimental

Nesta seção discutiremos uma experiência de execução simples que foi elaborada com o intuito de simular o fenômeno físico que produz o espalhamento da luz na atmosfera terrestre, que torna o céu azul e o pôr do sol avermelhado. Para melhor apreciação dos fenômenos, utilizamos três diferentes fontes de luz. Também verificamos a polarização da luz.

#### 3.1. Materiais utilizados

Os seguintes materiais foram utilizados:

- Leite desnatado
- Aquário de vidro
- Água
- Lanterna branca de LED
- Laser vermelho
- Laser verde

- Polarizador Bender<sup>2</sup>

### 3.2. Procedimento experimental

O experimento foi realizado numa sala escura, pois é necessário ter pouca luz para melhor visualização do efeito. Inicialmente foi colocada água até aproximadamente a metade do aquário e em seguida posicionamos a fonte de luz branca para observarmos o comportamento da luz apenas na água; o mesmo procedimento foi repetido utilizando lasers vermelho e verde. Verificamos que nesse caso a água se comporta como um meio homogêneo e transparente, no qual a luz é muito pouco espalhada e sua trajetória retilínea pode ser vista. Uma parede com azulejos brancos foi utilizada como tela para projeção da luz transmitida (Figs. 4a e 5a).

Em seguida, foi colocada uma pequena quantidade de leite desnatado no aquário (as moléculas do leite representam as partículas da atmosfera responsáveis pelo espalhamento da luz) e repetido o procedimento anterior para a luz branca e vermelha. Observa-se agora que a luz começa a ser espalhada e, no caso da luz branca, a água adquire um tom azulado, conforme pode ser visto na Fig. 4b. Por sua vez, na luz transmitida através do aquário e que incide na parede, Fig. 4a, observa-se um tom alaranjado, o que significa que as componentes de menores comprimentos de onda foram retiradas. A Fig. 4c mostra a imagem quando substituímos a lanterna por um laser vermelho.

A seguir, foi acrescentado um

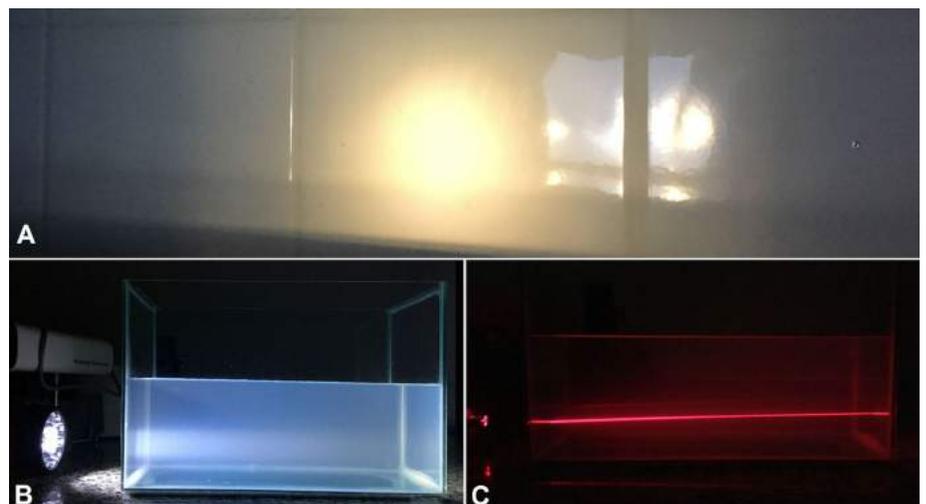


Figura 4 - (a) Imagem frontal da luz projetada na parede após atravessar o aquário. (b) Espalhamento da luz branca. (c) Espalhamento da luz vermelha.

pouco mais de leite e repetido o procedimento anterior, gerando as imagens mostradas na Fig. 5. Comparando-se as Figs. 4 e 5 percebe-se uma maior intensidade no espalhamento tanto da luz branca como da luz vermelha, quando acrescentamos mais leite à água. Adicionalmente, observa-se que, no caso da luz branca, a parte direita do aquário (lado oposto à posição da fonte da luz) adquire um tom menos azulado, Fig. 5b, o que implica em uma luz mais avermelhada projetada na parede, Fig. 5a.

Por fim, foi colocado ainda mais leite, cuja quantidade agora é suficiente para tornar a absorção grande o bastante para impedir a projeção da luz transmitida na parede. Isso foi verificado tanto para a luz branca quanto para a luz monocromática (verde e vermelha), como pode ser visto na Fig. 6. Como a potência do laser verde utilizado é muito maior que a potência do laser vermelho, a Fig. 6b é mais brilhante em comparação com a Fig. 6c.

Outro efeito observado foi o da polarização parcial da luz espalhada quando vista através de um polarizador, tanto da luz branca, Fig. 7, quanto da luz vermelha, Fig. 8. Na Fig. 7a o eixo do polarizador está na direção vertical, que é a direção na qual foi observada a máxima intensidade da luz espalhada. Na Fig. 7b o polarizador foi girado em  $90^\circ$  em relação à posição da Fig. 7a e observou-se nessa nova posição que a intensidade da luz é mínima. Isso significa que a luz espalhada é parcialmente polarizada (a luz natural não muda sua intensidade quando giramos um polarizador) e que a sua direção de polarização é vertical.

#### 4. Discussões e conclusões

Neste trabalho, repetimos o experimento bastante conhecido de reproduzir o azul do céu utilizando uma cuba com água acrescida de uma pequena quantidade de leite (representando a atmosfera) e uma lanterna (representando o sol), como pode ser visto na Fig. 9. Na Fig. 9a temos apenas água e praticamente não há espalhamento da luz. Na Fig. 9b o tom azulado da água é bem visível. À medida que aumentamos a quantidade de leite na água, (Figs. 9b e 9c), a absorção da luz torna-se cada vez mais dominante. Também utilizamos fontes de luz monocromática (lasers vermelho e verde), com as quais também se observa o fenômeno de espalhamento. Na Fig. 10 são mostradas as imagens para a luz vermelha.

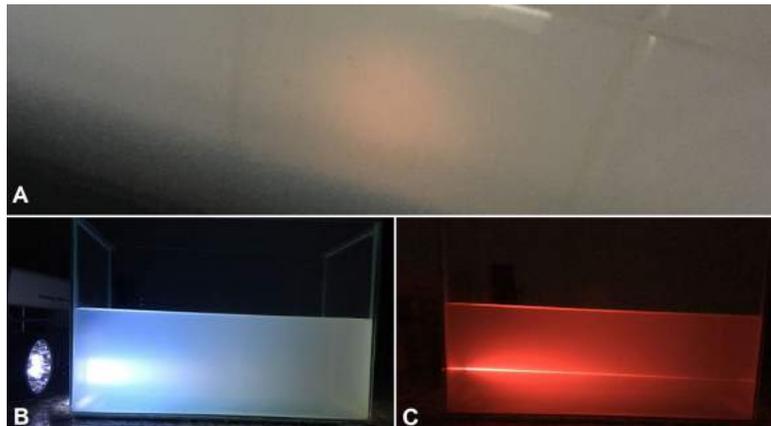


Figura 5 - Espalhamento e absorção da luz. (a) Imagem frontal da luz projetada na parede após atravessar o aquário. (b) Espalhamento e absorção da luz branca. (c) Espalhamento e absorção da luz vermelha.

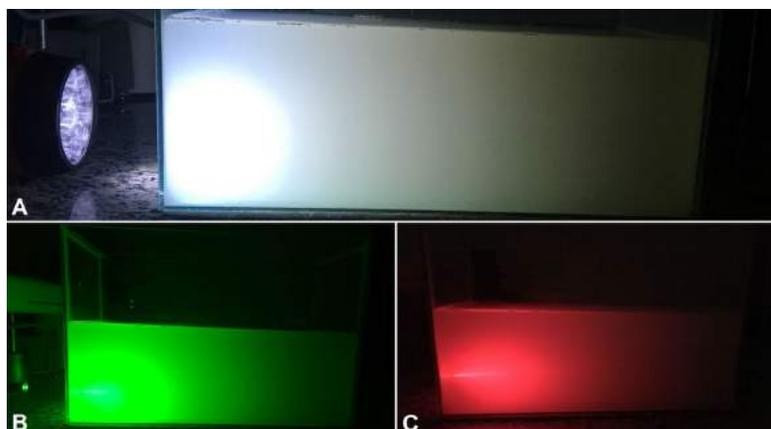


Figura 6 - Espalhamento e absorção da luz. Agora, a absorção da luz à medida que atravessa o aquário é mais intensa. (a) Espalhamento e absorção da luz branca. (b) Espalhamento e absorção da luz verde. (c) Espalhamento e absorção da luz vermelha.

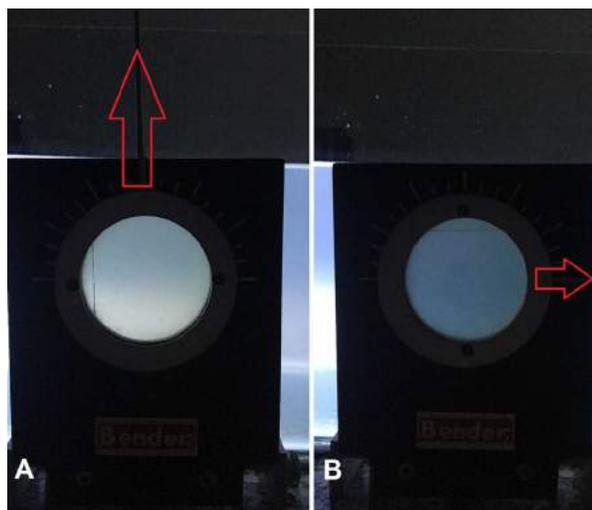


Figura 7 - Verificando a polarização da luz branca espalhada. A seta indica a direção do eixo do polarizador. (a) Eixo do polarizador na direção vertical. (b) Eixo do polarizador na direção horizontal.

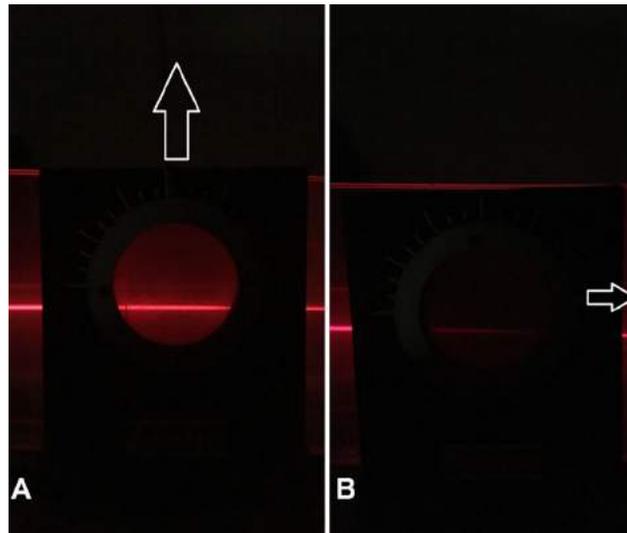


Figura 8 - Verificando a polarização da luz vermelha espalhada. A seta indica a direção do eixo do polarizador. (a) Eixo do polarizador na direção vertical. (b) Eixo do polarizador na direção horizontal.

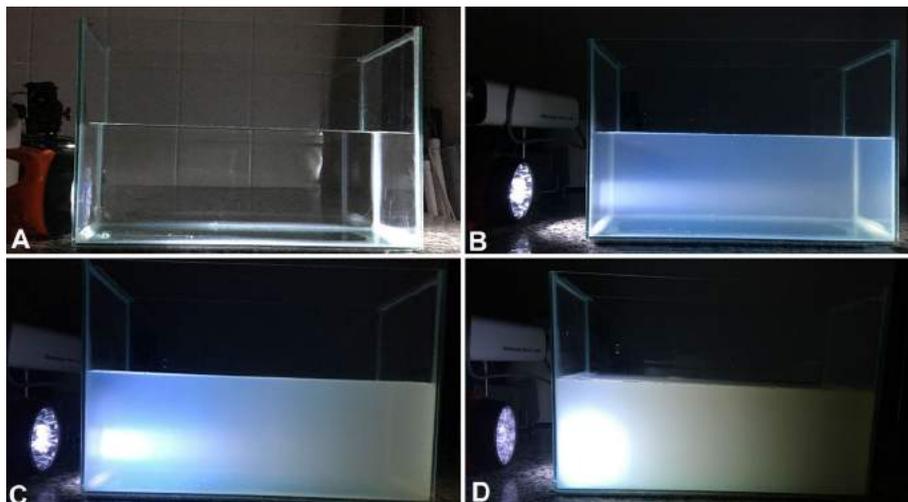


Figura 9 - Espalhamento da luz branca. (a) Água sem leite. (b) Água com pouco leite. (c) e (d) Água com maiores quantidades de leite.

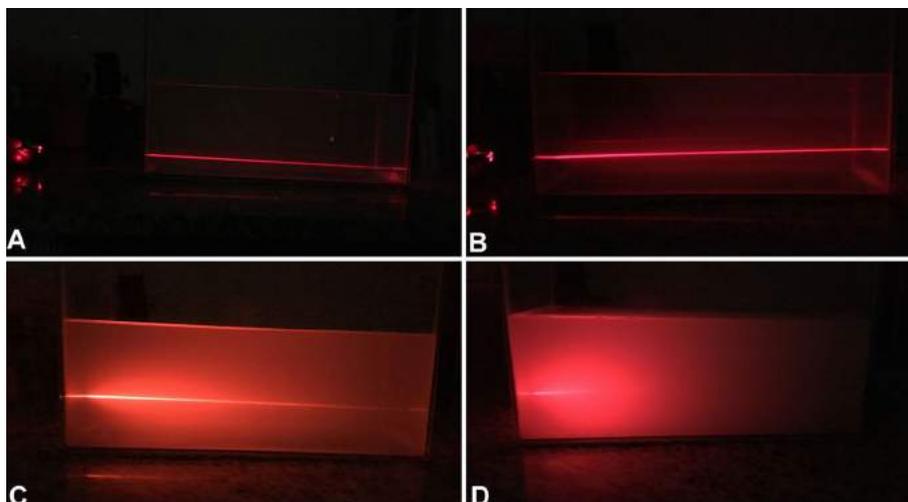


Figura 10 - Espalhamento da luz vermelha. (a) Água sem leite. (b) Água com pouco leite. (c) e (d) Água com maiores quantidades de leite.



Figura 11 - Vista frontal da luz incidente sobre uma parede branca após atravessar o aquário, para duas quantidades de leite. (a) Água com pouco leite. (b) Água com maiores quantidades de leite.

Por sua vez, na Fig. 11 vemos imagens (vista frontal) da luz que incide sobre uma parede branca após atravessar o aquário, para duas quantidades diferentes de leite disperso na água.

Este é um experimento realizado com materiais acessíveis, de baixo custo (o aquário de vidro pode ser substituído por uma garrafa PET transparente), de fácil execução e que pode ser feito

inclusive em sala de aula. Além disso, é uma ótima motivação para o estudo de importantes conceitos associados à luz, tais como polarização, absorção e espalhamento. Este último propicia a explicação para a cor azulada do céu e os tons vermelho e alaranjado do pôr do sol e, tecnicamente, é denominado espalhamento Rayleigh.

Contudo, é importante enfatizar

que a experiência aqui descrita, apesar de simular muito bem o azul do céu (Fig. 9), rigorosamente não é um espalhamento Rayleigh, já que o leite disperso na água constitui um sistema coloidal e, nesse caso, o espalhamento da luz é conhecido como efeito Tyndall. Esse fato é importante e deve ser destacado.

### Referências

- [1] A.J. Ortiz, C.E. Laburú, O.H.M. da Silva, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **27**, 599 (2010).
- [2] M. Rocha, T. Fujimoto, R. Azevedo, M. Muramatsu, Revista Brasileira de Ensino de Física **32**, 3501 (2010).
- [3] A.V. Andrade-Neto, Caderno de Física da UEFS **4**, 23 (2006).
- [4] J. Ribeiro, M. Verdeaux, Física na Escola **13**(1), 14 (2012).
- [5] A.A. Dias, A.V. Andrade-Neto, M.R. Miltão, Caderno de Física da UEFS **5**, 21 (2007).

### Notas

<sup>1</sup>Sistemas coloidais são sistemas nos quais um ou mais componentes são partículas com pelo menos uma de suas dimensões no intervalo entre 1 nm e 1  $\mu$ m, dispersas em um solvente cujas moléculas têm dimensões muito menores. São exemplos de sistemas coloidais: shampoo, cremes dentais e leite. As caseínas representam 80% da proteína total do leite e elas são compostas de partículas coloidais de formato arredondado de tamanho aproximado 200 nm.

<sup>2</sup>Um polarizador é um filtro que permite a passagem da luz em uma direção específica. Caso a escola não disponha de um polarizador, pode-se utilizar óculos de sol com lentes polarizadas, que podem ser obtidos a preço acessível.



# Capital cultural e o ensino de física: Exemplos em ótica

.....

**A.C.F. Santos\***

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

## RESUMO

Existe uma relação entre a classe social e o sucesso escolar. Muitos estudantes não atingem os objetivos estabelecidos pelos currículos e esse fracasso mostrou-se fortemente correlacionado com a classe social do aluno. O aprendizado em ciências atua como uma barreira, ampliando as oportunidades daqueles mais bem preparados e limitando as oportunidades daqueles menos privilegiados. Estudantes das classes sociais menos favorecidas falham em assuntos que são considerados importantes e altamente valorizados. A educação científica torna-se assim um fator-chave na reprodução de uma sociedade desigual. Assim, a escola deve assumir um papel essencial, facilitando e estimulando o acesso dos alunos aos bens culturais e sociais, minimizando os mecanismos de seleção social. Neste artigo, mostramos como isso é possível numa aula de ótica geométrica.

**Palavras-chave:** ótica geométrica; capital cultural; arte

.....

## 1. Introdução

*“Concebo na espécie humana dois tipos de desigualdade: uma que chamo natural ou física, porque é estabelecida pela natureza e consiste na diferença das idades, da saúde, das forças do corpo e das qualidades do espírito ou da alma; a outra que podemos chamar desigualdade moral e é estabelecida, ou pelo menos autorizada, pelo consentimento dos homens. Essa consiste nos diferentes privilégios que alguns usufruem em detrimento dos outros, como o de serem mais ricos, mais honrados, mais poderosos que eles, ou mesmo o de se fazerem obedecer por eles.”*

Jean Jacques Rousseau, *Discurso Sobre a Origem e os Fundamentos das Desigualdades Entre os Homens*

**B**ourdieu e Passeron [1] desconstruem o sofisma do sistema escolar como organismo fomentador da mobilidade social. Enquanto os estudantes oriundos das classes mais privilegiadas adquirem o capital cultural de forma natural, graças tanto ao ambiente familiar como ao ambiente extrafamiliar, os alunos provenientes das classes sociais menos privilegiadas vivenciam o processo de aprendizagem mais arduamente, pelo fato de esse capital cultural estar distante de seu cotidiano. A escola fomenta, mesmo de

forma não intencional, a criação de uma “aristocracia social”, indo contra o cânone da igualdade de oportunidades, fundamental para os sistemas educacionais. O sucesso e o destino escolares dos estudantes são determinados desde a infância, pelo sistema de ensino que frequentou, pelo ambiente familiar e pelas expectativas dos pais e dos professores em relação à cultura dominante [1, 2]. Os capitais social, cultural e econômico afetam o desempenho dos estudantes em ciências [3]. Entende-se capital como “o trabalho acumulado, em sua forma materializada ou incorporada que, quando apropriado por meio de agentes ou grupos de agentes, permite-lhes apropriar a energia social sob a forma de mão de obra” [1]. Dentre os vários capitais simbólicos definidos por Bourdieu, destacamos neste artigo o capital cultural.

O capital cultural está associado às práticas, saberes, e interesses adquiridos pelo sujeito [1]. É o domínio obtido por meio de leitura, viagens e idas a museus e teatros. O capital cultural é herdado de forma efetiva, sendo possível obtê-lo através da interação social. O capital cultural é fomentado pelo capital econômico, que constitui o conjunto

dos bens materiais e econômicos do indivíduo [1].

Cerca de 70% do desempenho escolar em ciências é justificado pelos capitais simbólicos [4]. Estudantes oriundos das classes privilegiadas alcançam uma escolaridade maior e ganham

salários maiores do que os estudantes das classes menos favorecidas. As habilidades cognitivas e não cognitivas são responsáveis apenas por uma

**Cerca de 70% do desempenho escolar em ciências é justificado pelos capitais simbólicos. Estudantes oriundos das classes privilegiadas alcançam uma escolaridade maior e ganham salários maiores do que os estudantes das classes menos favorecidas**

\*Autor de correspondência. E-mail: toni@if.ufrj.br.

parte dessas diferenças. Esses dados sugerem que mesmo que ao final do Ensino Médio os alunos das classes menos privilegiadas tenham adquirido o mesmo nível de habilidades cognitivas e possuam o mesmo desejo de frequentar o ensino superior, eles possuem uma chance menor do que seus colegas das camadas mais privilegiadas [5].

As vantagens econômicas, sociais e culturais atuam sobre o sucesso escolar dos estudantes, dado que a viabilidade de aquisição de valores culturais e educacionais está intimamente associada aos capitais adquiridos no meio familiar. Desconsiderar a importância da origem social sobre o sucesso escolar é subestimar o fato de que os privilégios sociais se reproduzem e se amplificam de modo contínuo ao longo da trajetória acadêmica [1].

Os êxitos de Cuba nos exames internacionais de ciências, linguagem e matemática, confrontando-se com as realidades brasileira e chilena, ilustram que, apesar do fato de o Brasil e o Chile exibirem índices socioeconômicos superiores aos de Cuba, os estudantes cubanos possuem melhor desempenho que os estudantes brasileiros e chilenos [5]. É função primordial do professor possibilitar o acesso dos estudantes aos capitais culturais e sociais, minimizando os mecanismos de distinção social. Os professores podem, pela utilização dos recursos a sua disposição, oferecer atividades educacionais e culturais estimulantes. A escola pode e deve minimizar as barreiras entre as distintas classes sociais.

Nas palavras de Zanetic [6]: “Quando se fala em cultura, raramente a física comparece na argumentação. Cultura é quase sempre evocação de obra literária, sinfonia ou pintura; cultura erudita, enfim. Tal cultura, internacional ou nacional, traz à mente um quadro de Picasso ou de Tarsila, uma sinfonia de Beethoven ou de Villa Lobos, um romance de Dostoiévski ou de Machado de Assis, enquanto a cultura popular faz pensar em capoeira, num samba de Noel ou num tango de Gardel. Dificilmente, porém, cultura se liga ao teorema de Godel ou às equações de Maxwell!”. Na próxima seção apresentamos alguns exemplos de como contextualizar o ensino de ótica geométrica e ao mesmo tempo fomentar a aquisição de capital cultural pelos estudantes.

## 2. Exemplos com ótica geométrica

A ótica geométrica tem perdido

espaço e importância nos ensinamentos Médio e Superior brasileiros, devido à falsa e difundida ideia de que é um assunto de interesse limitado. De forma anedótica, tomamos conhecimento de que vários professores, ex-alunos de cursos de licenciatura, lamentam não terem tido oportunidade de estudar ótica geométrica durante a graduação e sentem-se inseguros quando devem ensinar esse conteúdo. Estudos da compreensão dos estudantes sobre ótica geométrica foram realizados por Goldberg e McDermott [7] e por Wosilait e cols. [8]. Muitos estudantes demonstram concepções ingênuas sobre a luz e suas propriedades [8]. Essas concepções espontâneas persistem mesmo após uma exposição convencional, que geralmente dá ênfase aos aspectos quantitativos em detrimento dos qualitativos. A utilização bem-sucedida de equações não indica a compreensão de um assunto. Os estudantes raramente são incentivados a visualizar toda a gama de fenômenos físicos associados à reflexão e à formação de imagens.

Um ponto que merece destaque é o mecanismo de transferência de imagens, que faz parte da teoria da luz e da visão e que tem uma história mais antiga do que muitos outros ramos das ciências da natureza [9]. Várias teorias concorrentes sobre a visão foram desenvolvidas na Grécia antiga. Os pitagóricos sugeriram a teoria da visão de emissão, de acordo com a qual o “fogo interno” sai do observador e viaja para os objetos vistos. Os atomistas, por outro lado, sugeriram a teoria da intromissão e insistiram em uma *eidolon* (imagem), uma réplica do objeto visto, viajando pelo espaço em direção ao olho humano. Ambas as teorias foram desenvolvidas em paralelo e seus apologistas estavam em contínuo diálogo uns com os outros até que Al-Hazen (965-1039) chegou ao seu próprio entendimento de visão, valendo-se de várias ideias gregas [10]. Na sua opinião, a luz, sendo composta por raios de luz, é refletida de todos os pontos da superfície de um objeto e viaja em todas as direções. Uma imagem ótica é criada quando os

raios de luz relevantes penetram no olho do observador e atingem a superfície da lente do olho. Cada ponto da imagem é criado por um único raio de luz do objeto. A teoria de Al-Hazen tornou-se conhecida na Europa através de traduções do árabe para o latim nos séculos XII e XIII [10]. Roger Bacon, em Oxford (1214-1292), foi um dos primeiros no Ocidente a aceitar as novas ideias, na segunda metade do século XIII. A nova teoria apareceu posteriormente nos manuscritos de Witello e Pecham e circularam na Europa Ocidental. Desde então, e até o trabalho de Kepler em 1604, a compreensão da luz e imagens óticas no quadro da teoria de Al-Hazen prevaleceu entre pessoas educadas na língua latina. A seguir, ilus-

tram-se alguns exemplos de contextualização em sala de aula, exemplos nos quais as ideias científicas e humanistas coexistem.

A formação de imagens é de primordial importância no estudo da ótica. Pesquisas identificaram uma ampla variedade de concepções alternativas que os alunos constroem em relação à transferência de imagens. O conhecimento dos alunos sobre a ótica pode ser represen-

tado por esquemas de conhecimento [10]. Um desses esquemas equivocados em relação à imagem ótica foi identificado. No esquema holístico, considera-se que a imagem viajou do objeto para o observador ou um espelho. Os alunos geralmente descrevem a imagem como saltando para fora do espelho ou mesmo sendo criada por ele [10]. A imagem ótica é então considerada um objeto material. Esse esquema, desenvolvido de forma independente pelos alunos, representa uma substituição ontológica da imagem ótica (apresentando uma iluminação padrão), para que a imagem seja considerada um objeto material. A seguir, apresentamos alguns exemplos que podem ser trabalhados em sala de aula.

A pintura a óleo *O casal Arnolfini*, de 1434, é uma das obras mais famosas do pintor flamengo Jan van Eyck. A

**Nas palavras de Zanetic :  
“Quando se fala em cultura,  
raramente a física comparece na  
argumentação. Cultura é quase  
sempre evocação de obra  
literária, sinfonia ou pintura;  
cultura erudita, enfim. Tal  
cultura, internacional ou  
nacional, traz à mente um quadro  
de Picasso ou de Tarsila, uma  
sinfonia de Beethoven ou de Villa  
Lobos, um romance de  
Dostoiévski ou de Machado de  
Assis, enquanto a cultura popular  
faz pensar em capoeira, num  
samba de Noel ou num tango de  
Gardel. Dificilmente, porém,  
cultura se liga ao teorema de  
Godel ou às equações de  
Maxwell!”**

pintura mostra Giovanni Arnolfini e sua esposa Giovanna Cenami, residentes da cidade de Bruges, atual Bélgica, no século XV. O casal é representado em sua alcova. A pintura, considerada inovadora para a época, ilustra diversos conceitos relacionados com perspectivas. Um espelho aparece ao fundo, formando uma imagem invertida da cena, conforme mostram as Figs. 1 e 2. Com base na configuração da imagem, o professor pode perguntar aos alunos sobre a forma do espelho pendurado na parede ao fundo. Seria um espelho plano? Côncavo? Convexo? Um tipo de questão com grande



Figura 1 - *O casal Arnolfini*, de Jan van Eyck. National Gallery, Londres.

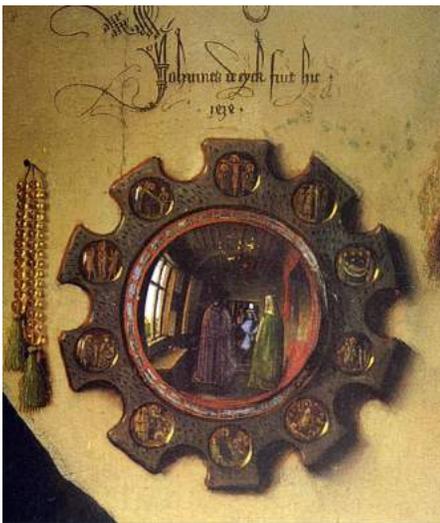


Figura 2 - Detalhe do quadro *O casal Arnolfini*.

potencial didático é “o que acontece se...” [11]. Por exemplo, explorando o fato de que, a despeito da localização do objeto, as imagens em espelhos convexos são sempre virtuais, direita e de tamanho relativo reduzido, uma possível pergunta seria “se o casal se aproximasse ou se afastasse do espelho, a imagem passaria de direita a invertida?”.

A Fig. 3 mostra a pintura *Vênus ao espelho*, de Diego Rodriguez de Silva Y Velázquez (1599-1660), pintor do século XVII e principal artista do Século de Ouro espanhol. Velázquez pintou esse quadro entre 1648 e 1651 durante sua estadia na Itália. A tela encontra-se exposta na National Gallery em Londres sob o título *The toilet of Venus* ou *The Rokeby Venus*. Esse nu foi um predecessor dos vários nus da renascença. O quadro mostra o dorso de uma mulher, a deusa Vênus, que olha para um espelho segurado por seu filho Cupido, o deus romano do amor físico. Por não ser comum naquela época retratar o nu feminino, *Vênus ao espelho* gerou polêmica. Na pintura, o espelho reflete uma face. Aqui o professor pode trabalhar com os estudantes a reversibilidade dos raios, visto que Vênus não pode estar olhando a si mesma, uma vez que o observador pode observar a imagem do rosto de Vênus. Esse fenômeno ficou conhecido como “efeito Vênus”. A obra representaria a partida ou a chegada do observador, mostrando o corpo de Vênus de costas para ele. *Vênus ao espelho* é a única

obra de Velázquez mostrando o nu feminino que resistiu até os dias atuais. Nus artísticos eram raros na arte espanhola do século XVII, cuja sociedade foi controlada pela Inquisição. A obra foi levada para a Inglaterra para ser exibida em Rokeby Park, Yorkshire (daí seu apelido *Rokeby Venus*). A pintura foi comprada e levada para a National Gallery em 1906. A obra foi gravemente danificada pela sufragista Mary Richardson em 1914 e restaurada em seguida.

Estudos mostram que interpretações incorretas persistem em um número elevado de estudantes, mesmo no caso simples de espelhos planos [12]. Aqui, o professor encontra uma boa oportunidade, por exemplo, de discutir a reversibilidade dos raios óticos, a diferença entre reflexão especular e difusa, imagens virtual e real. O conceito de imagem virtual fica ainda mais obscuro para os estudantes no contexto de lentes e espelhos curvos. Outro ponto que o professor pode explorar é a falsa ideia de que há troca da direita para a esquerda entre a imagem e o objeto, mas não há troca na vertical<sup>2</sup>. Existe uma crença comum entre estudantes que um espelho inverte uma imagem da esquerda para a direita. No entanto, o efeito do espelho plano é mudar a quiralidade (por exemplo, a rosca no sentido horário de um parafuso é vista no sentido anti-horário). O fascinante fenômeno da inversão pelo espelho plano foi reconhecido há milhares de anos, e sempre foi objeto de



Figura 3 - *Venus ao espelho*, de Diego Velázquez. National Gallery, Londres.

intriga. Ensinar esses tópicos ajuda os alunos a entenderem que um espelho “faz” para a imagem e o que “não faz”.

O óleo sobre tela do pintor francês Édouard Manet, *Um bar no Folies-Bergères* (Fig.4), considerado sua última

grande obra, retrata uma cena onde a jovem Suzon, empregada do famoso café em Paris, aparenta indiferença e certa tristeza. Porém, o reflexo de Suzon não se apresenta como uma imagem exata da cena, não só quanto à sua posição, mas também pela presença de um homem à sua frente. Seria esse “erro” proposital? O professor poderia explorar o erro de perspectiva de acordo com as leis de formação de imagens em espelhos planos.

O artista italiano Michelangelo Merisi da Caravaggio (1571-1610) retrata na tela *Narciso* (Fig. 5) o personagem eternizado pela mitologia grega. Segundo a lenda, Narciso inclinou-se para beber água num lago e, ao ver a sua imagem refletida na superfície, encantou-se por ela. Esse enamoramento levou Narciso a deixar de se alimentar e dormir, definhando o corpo e morrendo.

O artista holandês Maurits Cornelis Escher (1898-1972) [13] é reconhecido pelas suas representações de construções impossíveis. A Fig. 6 mostra uma litografia de 1935, *Mão com uma esfera refletora*, ou *Autorretrato num espelho esférico*. A litografia mostra uma mão portando uma esfera refletora. É possível observar a imagem de Escher, assim como o ambiente ao redor. Essa obra constitui uma boa oportunidade de estudar as propriedades dos espelhos esféricos.



Figura 4 - Reprodução da obra *Um bar no Folies Bergères*, de Édouard Manet. Courtauld Institute Galleries, Londres.



Figura 5 - *Narciso* é uma pintura do mestre barroco italiano Caravaggio (1597-1599). Está exposto na Galleria Nazionale d'Arte Antica em Roma. Foi Roberto Longhi quem atribuiu a pintura a Caravaggio em 1916.



Figura 6 - *Autorretrato num espelho esférico*, de M.C. Escher.

### 3. Conclusões

Em suma, as formas do capital cultural são objetificadas por meio de obras de arte e incorporadas pelo reconhecimento de distinção, pelo gosto. Outra característica importante é que, ao contrário do capital econômico que pode ser adquirido muito rapidamente, ganhando na loteria, por exemplo, o capital cultural demanda tempo. Não será em uma aula, ou apenas em um semestre, mas é adquirido através de um processo de assimilação sistemático, por meio da *ação pedagógica*,<sup>3</sup> implicando em um *trabalho pedagógico*<sup>4</sup> cuja duração deve ser longa o bastante para produzir uma formação efetiva.

Nesse sentido, apresentamos neste artigo uma proposta de como o profes-

sor, no contexto de uma aula de ótica geométrica, poderia contribuir para minimizar as desvantagens dos estudantes oriundos das classes menos favorecidas, que no ambiente familiar não encontram o estímulo para o cultivo do capital cultural. O professor deve valer-se de todos os meios disponíveis para romper o círculo vicioso de perpetuação das desigualdades. Para os estudantes que não gozam do acesso aos valores culturais ou de convívio social que facilite a aquisição desses capitais, a escola assume o papel primordial de transmissão da herança cultural. É preciso compreender a crise escolar para além dos fatores puramente econômicos, enxergando a escola como parte de um todo social em que os recursos

materiais, relacionais e inspiracionais se traduzem em resultados educacionais. Os capitais social e cultural podem ser fomentados pela escola mediante estratégias desenvolvidas em sala de aula, pelo fomento de um ambiente escolar estimulante e de iniciativas que fomentem a aprendizagem. Reforçamos a necessidade de professores qualificados, com boa formação e valorizados para que a falta de sucesso escolar entre a população mais pobre deixe de ser um fato.

### Agradecimentos

O autor agradece o apoio do Programa Abdias Nascimento (CAPES) e ao CNPq.

### Referências

- [1] P. Bourdieu e Jean-Claude Passeron, *Os Herdeiros, os Estudantes e a Cultura* (Editora UFSC, Florianópolis, 2014).
- [2] D.P. Kauchak, P.D. Eggen, *Learning and Teaching, Research-Based Methods*, Fifth Edition, (Pearson, Londres, 2007), p. 36.
- [3] E.B.Vilela-Ribeiro, A.M.C.Benite, *Ciências & Educação* **23**, 403 (2017).
- [4] R.W. Rumberger, *Economics of Education Review* **29**, 246 (2010).
- [5] M. Carnoy, A.K. Gove, J.H. Marshall, *Cuba's Academic Advantage: Why Students in Cuba do Better in School* (Stanford University Press, California, 2007).
- [6] J. Zanetic, *Ciência e Cultura* **57**, 21 (2005)
- [7] F.M. Goldberg, L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **55**, 108 (1987).
- [8] K. Wosilait, P.R.L. Heron, P.S. Shaffer, L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **66**, 906 (1998).
- [9] I. Galili, B. Zinn, *Science & Education* **16**, 441 (2007).
- [10] D. Hockney, *O Conhecimento Secreto, Redescobrimos as Técnicas Perdidas dos Grandes Mestres* (Cosac & Naify, São Paulo, 2001).
- [11] A.B. Arons, *Teaching Introductory Physics* (Hoh Willey & Sons, Inc. New York, 1997), part I, p. 264.
- [12] F.M. Goldberg, L.C. McDermott, *The Physics Teacher* **24**, 472 (1986).
- [13] Bruno Ernst, *O Espelho Mágico de M.C. Escher* (Taschen, São Paulo, 1991).

### Notas

<sup>1</sup>A catóptrica refere-se à ótica das superfícies refletoras, em oposição à dióptrica, que se refere à ótica dos elementos refringentes.

<sup>2</sup>Este é um ponto raramente discutido nos livros didáticos. Por que, ao atingir nossos olhos, a luz refletida pelo espelho é trocada na direção horizontal, mas não na vertical? Na verdade, não há nada que faça o eixo horizontal tão especial no contexto de uma reflexão de raios num espelho plano. Os espelhos não revertem direita com a esquerda, mas sim, de frente para trás, ou seja, é invertida ao longo da direção perpendicular ao plano do espelho, como um guarda-chuva que se abre ao contrário numa ventania.



# Relato do ensino de momento de alavanca e lógica de programação no ensino fundamental por meio de plataformas eletrônicas



**Fábio Lombardo Evangelista\***

Departamento de Física, Instituto Federal Catarinense, Concórdia, SC, Brasil

**Lincoln Moura de Oliveira**

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

**Michele Moreira de Souza**

Centro Educacional Maria Montessori, São José, SC, Brasil

## RESUMO

*Este trabalho refere-se ao ensino de momento de alavanca no Ensino Fundamental. O trabalho foi aplicado a doze participantes procedentes do 5º ao 9º ano do Ensino Fundamental. As aulas foram instrumentalizadas por um braço robótico construído em impressora 3D e controlado pela tecnologia Arduino. Também houve o estudo da lógica de programação, mediante o uso do programa computacional Scratch instalado em uma plataforma eletrônica Raspberry Pi. Os dados foram coletados por meio de observações de quatro encontros. Estes, por sua vez, foram conduzidos pelas metodologias Peer Instruction e SCALE-UP. A mediação pedagógica foi promovida por meio de cinco relações pedagógicas: aluno-professor, aluno-aluno, aluno-ambiente, aluno-saber científico e aluno-tecnologia. Tais relações, além de favorecer o envolvimento emocional do aluno com as atividades, permitiram uma considerável influência na reelaboração conceitual sobre os conceitos estudados, assim como na compreensão da lógica de programação.*

**Palavras-chave:** ensino de física; impressão 3D; Arduino; Raspberry Pi; novas metodologias de ensino



## 1. Introdução

**D**o ponto de vista docente, os novos desafios que se impõem ao exercício da profissão dificultam a construção de uma sala de aula mais diversificada do ponto de vista metodológico. As escolas exigem um perfil diferenciado, paciente, criativo, empático, divertido e instigador, desafios que obrigam ao constante aprimoramento profissional [1]. No entanto, a falta de tempo, aliada à desvalorização da carreira [2] e ao aumento dos turnos de trabalho [3], dificultam a qualificação profissional docente.

Os principais obstáculos encontrados no estudo de física estão relacionados à escassez de instrumentos concretos e metodológicos adequados ao ensino. A má postura docente acaba por contribuir para as dificuldades de aprendizagem. Nesse aspecto, Sanchez [4] vai além, dizendo que as dificuldades originadas no ensino podem ser devido à falta de organização na sequência didática ou por não propiciarem motivação o suficiente. Ele ainda comenta que a falta de ajuste dentre os conteúdos e o nível de abstração e desenvolvimento do aluno, torna o ensino muito pouco eficaz.

Ao observar esses aspectos, fica claro que o processo de ensino e aprendizagem traz em seu corpo particularidades que o torna desmotivador aos alunos. Conforme afirma Alves Filho [5], uma má ação docente, embasada em metodologias inadequadas e desmotivadoras, robustecem os obstáculos na transposição do senso comum para o científico.

Parte do sistema educacional brasileiro encontra-se estagnado, tornando o

ambiente escolar obsoleto e engessado, no qual a resolução exacerbada de exercícios assume maior importância que a qualidade do ensino. As formas como os conteúdos, no ensino de física, são apresentadas aos estudantes durante sua passagem pelo Ensino Médio acabam por não priorizar a aprendizagem, mas sim a memorização [6] em prol da aprovação e o avanço para a próxima fase do sistema educacional.

O autor deste trabalho acredita que a resolução de exercícios pode ser benéfica, desde que não seja a única prática utilizada no processo educacional. Variar os recursos didáticos por meio de instrumentos tecnológicos geram boas e novas possibilidades para o ensino de física. Deste modo, ao se considerar os estudantes atuais, o uso das tecnologias no diálogo com os saberes de física no contexto escolar é fortemente recomendado [7] pois, de fato, o material didático enriquecido com recursos tecnológicos pode favorecer a participação dos alunos, pois se apropria da facilidade que eles tem com tais aparatos.

Há uma corrente pedagógica que acredita nas práticas laboratoriais como solução para o ensino de física. Essa opinião ganha fôlego, pois o laboratório didático oportuniza a vivência

**Os principais obstáculos encontrados no estudo de física estão relacionados à escassez de instrumentos concretos e metodológicos adequados ao ensino**

do concreto, do tátil, da aplicação experimental dos conceitos científicos. No entanto, Oliveira e cols. [8] diz que a potencialidade atribuída aos instrumentos não está atrelada à

sua exclusiva inserção no ambiente escolar. Esse processo de inserção instrumental no contexto real de sala de aula precisa ser analisado em comunhão com a prática docente, visando ao processo de ensino e aprendizagem.

\*Autor de correspondência. E-mail: fabio.evangelista@ifc.edu.br.

Segundo Sampaio [9], é importante que o professor conheça e saiba utilizar criticamente a tecnologia para não ser dominado por ela. A tecnologia deve ser inserida na sala de aula como um instrumento facilitador, uma ferramenta detentora de significado, servindo de mediação ao saber científico.

Dentre a gama de ferramentas tecnológicas para trabalhar situações e fenômenos do mundo real no contexto escolar, o Arduino, o Raspberry Pi e a impressão 3D apresentam uma boa combinação, possuindo vastas explicações e aplicações acessíveis nas mídias digitais, oportunizando ir além do universo escolar.

Mesmo sabendo que esse artifício não é essencial ao processo de ensino, não se pode desconsiderar que o contexto social discente se encontra imerso nas tecnologias. Para Bennett [10], os novos alunos, denominados “nativos digitais” ou “geração conectada” não aprendem da mesma maneira que as gerações anteriores, isso porque aprendem a partir de experiências, possuem habilidades em multitarefas e estão adaptados às tecnologias de informação e comunicação para se conectarem com outras pessoas.

Prensky [11] diz que os novos alunos mudaram o modo de entender os fenômenos, o sistema educacional atual não os alcança de modo suficiente. Essas afirmações apontam para a necessidade de tornar o ensino de física mais significativa, motivador, desafiante e atraente ao ambiente escolar e, para isso, a tecnologia surge como uma possível alternativa, mesmo sabendo que materiais tecnológicos inseridos no ambiente educacional não são sinônimos de inovação, podendo se tornar artefatos sem significado para o ambiente que o agrega. Quando se pretende inovar, é preciso ter a compreensão de que a tecnologia não deve ser mero artefato, mas sim um instrumento pedagógico significativo para o processo de ensino e aprendizagem [12].

Este trabalho traz dois objetivos principais. O primeiro é relatar uma proposta multidisciplinar, com *Peer Instruction* e *SCALE-UP (Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs)*, aplicada a alunos do ensino fundamental. O segundo é perceber de que maneira essas

metodologias regem as aplicações do aparato tecnológico escolhido — Arduino, Raspberry Pi e peças de um braço robótico impressas em 3D —, ajudando na compreensão das variáveis intrínsecas à inserção de tecnologias no contexto educacional.

O conjunto de equipamentos eletrônicos Arduino, Raspberry Pi e as peças de um braço robótico impressas em 3D, utilizados neste trabalho, foram adquiridos na empresa MENTES3D. No entanto, a linguagem utilizada no programa fonte Arduino e outras opções de equipamentos se encontram na seção 6 deste escrito.

O presente artigo está dividido em sete seções: a seção 2 apresenta alguns conceitos relacionados ao ensino que impactam no processo de aprendizagem; na seção 3 é descrita a relação entre as duas metodologias utilizadas, *Peer Instruction* e *SCALE-UP*; a seção 4 apresenta a proposta tecnológica que tem como base a inserção de artefatos tecnológicos em ambientes educacionais; a seção 5 relata o desenvolvimento do projeto; a seção 6 fala dos caminhos que o leitor pode seguir para realizar essa sequência didática e, por fim, a seção 7 apresenta as considerações finais sobre a pesquisa.

## 2. Fundamentação

Uma autêntica inovação pedagógica envolvendo aplicações didáticas em um contexto real de sala de aula tem como enfoque a prática de atividades e suas interpretações [13]. Neste projeto, a prática social é observada à medida que se motivam os alunos a dialogar com seus colegas e professores, interagir com os materiais didáticos e tecnologias inseridas no ambiente educacional e compreender os saberes de cunho científico.

Custódio Filho [6] suspeita que vínculos afetivos com o conhecimento científico favorecem o aprendizado, permitindo ao aluno transportá-lo para fora do contexto escolar. A maneira tradicional de se ensinar física causa um déficit representacional, ou seja, os alunos não veem sentido nos conhecimentos oferecidos na escola, e isso dificulta a

edificação de conexões mais duradouras, tais como os de ordem afetiva [6].

A forma como é proporcionado o estímulo, impacta diretamente na qualidade do ensino e, conseqüentemente, no sucesso ou fracasso da aprendizagem [14, 15]. Desse modo, é possível afirmar que ao vivenciar um ambiente mais interativo o aluno potencializará suas chances de realizar as conexões entre teoria e prática, fator que o induzirá à aprendizagem [16].

A inovação educacional não pode ser vista apenas como uma inserção de novas tecnologias ou mudança no nível pedagógico do processo educacional. Oliveira e cols. [8] afirma que ela precisa ser permeada por uma metodologia condizente ao processo educacional e apoiada em

quatro relações discentes bem definidas no decorrer do processo educacional. Ele defende que essas relações devam ocorrer entre: Aluno-Aluno, Aluno-Professor, Aluno-Tecnologia e Aluno-Ambiente. No entanto, este projeto agrega mais uma relação às quatro anteriores: Aluno – Saber Científico [5]. Sobre essa última relação, Pinho defende que a aproximação do saber ao aluno está intrinsecamente relacionada ao direcionamento estipulado pelo professor, impondo, em parte, sua visão acerca do procedimento aplicado em aula e decidindo, juntamente com a escola, o melhor estilo de trabalhar os saberes na comunidade escolar. Esse conjunto de ações propostas pelo professor determina como deve ser organizado o processo de ensino do saber observado. Assim sendo, somam-se cinco relações discentes importantes ao processo educacional: aluno-professor, aluno-aluno, aluno-ambiente, aluno-saber científico e aluno-tecnologia.

Tais relações, mediadas por atividades experimentais, têm a intenção de oferecer condições para que os estudantes consigam ver uma dada situação com o mesmo olhar, induzindo-os a possíveis relações ou variáveis de interesse. Muitos dos obstáculos no processo de ensino-aprendizagem ocorrem devido a diferentes interpretações que os alunos elaboram sobre o que veem. A experiência e a prática docente tem mostrado que eles relutam em tirar suas dúvidas, o que pode provocar interpretações totalmente fora de sentido. Sendo assim, as cinco relações, aliadas

**A maneira tradicional de se ensinar física causa um déficit representacional, ou seja, os alunos não veem sentido nos conhecimentos oferecidos na escola**

**A tecnologia deve ser inserida na sala de aula como um instrumento facilitador, uma ferramenta detentora de significado, servindo de mediação ao saber científico**

a proposições de atividades favoráveis à reconstrução dos saberes, apresenta a finalidade de orientar as proposições livres dos alunos na mesma direção das proposições universais de aceitação coletiva [5].

### 3. Metodologias de ensino

O processo metodológico utilizado neste trabalho sugere uma proposta que busca interligar o uso da tecnologia com o ensino de física e lógica por meio de duas abordagens metodológicas, *Peer Instruction* e *SCALE-UP*.

#### 3.1. Peer instruction

A *Peer Instruction* (Instrução por Pares) foi disseminada nos anos 1990 pelo professor Eric Mazur da universidade de Harvard [17]. Esse método, aplicado originalmente com acadêmicos dessa universidade, preocupa-se em evitar a mera “transferência de informação” para os alunos, incentivando que eles busquem as informações por meio de leituras prévias para depois, em um encontro presencial, discutir as ideias com seus pares.

Os alunos, organizados em duplas ou pequenos grupos, são convidados a participar de uma dinâmica de perguntas e respostas. Na medida em que vão ocorrendo os acertos das questões, outras vão sendo feitas. Após cada pergunta, os alunos têm um pequeno tempo para formular e apresentar suas próprias respostas, sem auxílio dos colegas ou professores. Esse passo é feito em silêncio (aluno-professor) e pode ser feita, por exemplo, com o auxílio de *flash cards* (A, B, C, D); das próprias mãos, utilizando os dedos para indicar a alternativa correta (um dedo para A, dois dedos para B, etc.), ou ainda usando os *Plickers* [18], o que dá dinamismo ao processo.

Após o professor verificar as respostas (aluno-professor), os alunos são convidados a conversar entre si (aluno-aluno). Esse passo torna possível verificar se há mudança nas respostas finais fornecidas, partindo do pressuposto de que o aluno detentor da resposta correta vai persuadir os colegas a seguir-no.

A dinâmica ocorre com base no nível de acertos das questões, fato que define a direção a ser seguida. Se abaixo de 30%, o professor repete, de forma

diferente, a explicação. Os alunos são convidados a discutir as divergências em grupo, para então chegarem a um consenso. Isso ocorre durante uma breve discussão e, em seguida, eles são chamados a dar uma resposta final. Com o aumento de acertos, a aula segue adiante [17]. Dessa maneira, há uma sequência a ser seguida, iniciada pelos estudos prévios, seguida pela avaliação e interação constantes, tendo o aluno como sujeito ativo do processo de ensino e aprendizagem. De modo prático, a proposta traz o objetivo de mobilizar os alunos a estudar.

Sabendo que uma parte dos alunos não realizam as leituras dos textos com antecedência, uma breve apresentação foi feita no início de cada encontro. Assim, houve um esforço no sentido de reforçar os conceitos dos que fizeram a leitura prévia e assessorar aqueles sem essa leitura, para que estejam minimamente cientes do assunto a ser trabalhado.

#### 3.2. SCALE-UP

A metodologia *SCALE-UP* (*Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs* - literalmente, “atividades centradas no estudante para programas de graduação com turmas grandes”), também conhecida como “ambiente de aprendizagem ativo centrado no aluno”, foi desenvolvida por Robert Beicher na Universidade Estadual da Carolina do Norte. Basicamente é um conjunto de práticas que torna o aluno participativo no processo pedagógico, no qual ele não tem a primeira exposição ao conteúdo no ambiente escolar. De maneira semelhante ao método anterior, a nova proposta exige

que os alunos se preparem antes de ir para a aula, por meio de leituras orientadas. Na aula se discute o que foi previamente lido, onde cabe ao professor evidenciar os pontos principais, promovendo debates e enriquecendo os diálogos [19].

A metodologia procura gerar um ambiente de aprendizagem que incentive os alunos a compartilharem conhecimentos entre si, questionando e

ensinando uns aos outros [19]. A tecnologia vem em auxílio ao estudante que, estando imerso em um ambiente interativo, é chamado a observar os fenômenos estudados, coletar dados e analisar a modelagem matemática deles, usando os laboratórios tecnológicos (aluno-saber científico).

Como ressalta Henriques [20], o *SCALE-UP* se difere pelo uso da tecnologia (aluno-tecnologia); as aulas contam com atividades projetadas na tentativa de favorecer as observa-

ções dos fenômenos estudados, potencializando o ato de refletir e discutir os saberes com seus pares e com o professor. As novas tecnologias vêm novamente em auxílio a essas experiências, quando os alunos são motivados a usar seus computadores e mesas especiais, em formato hexagonal, que auxiliam na cooperação discente por meio da formação de grupos de estudo (aluno-ambiente). Na ausência das mesas especiais, os alunos foram organizados em três quartetos. As mesas postas em formato de retângulo auxiliaram as devidas relações discentes já citadas na fundamentação teórica.

### 4. A tecnologia utilizada

A instrumentalização tecnológica presente trouxe como principal objetivo despertar o interesse discente nos estudos de física e lógica. O trabalho propôs amparar os conceitos científicos com o manejo planejado do *Arduino*, do *Raspberry Pi* e da montagem de um braço robótico impresso em 3D. O uso da tecnologia auxiliou na dinamização da aula, servindo de ponte para aproximar o conceito da experiência concreta, estimulando a uma participação discente mais ativa.

#### 4.1. Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um pequeno computador com múltiplas funções e pode ser conectado a um monitor e anexado a um teclado e mouse. Sua origem vem de uma instituição de caridade no Reino Unido que tem como ideal disseminar os recursos digitais em escala mundial, fornecendo computadores de baixo custo e alto desempenho, ajudando as pessoas a estudar computação e criação digital [21].

#### 4.2. Arduino

O *Arduino* é uma plataforma de

**A SCALE-UP é um conjunto de práticas que torna o aluno participativo no processo pedagógico, no qual ele não tem a primeira exposição ao conteúdo no ambiente escolar**

**A Peer Instruction preocupa-se em evitar a mera “transferência de informação” para os alunos, incentivando que eles busquem as informações por meio de leituras prévias para depois, discutir as ideias com seus pares**

prototipagem eletrônica de hardware e software de código mundialmente aberto. Criado por volta de 2005 na Itália pelo professor Massimo Banzi do *Interaction Design Institute Ivrea*, hoje está popularmente consolidado, principalmente entre os engenheiros e técnicos em eletrônica [22].

Por possuir código aberto, o Arduino beneficia-se de constantes contribuições de pessoas que refinam seu código e oferecem exemplos, tutoriais, fóruns e grupos em todo o mundo. Desse modo, novidades introduzidas ampliam cada vez mais suas possibilidades de aplicação [22].

### 4.3. Impressão 3D

A Tecnologia de Impressão 3D oferece uma boa alternativa para a construção de modelos tridimensionais. No modo FMD (*fusion deposition modeling*), são moldados por meio do depósito de sucessivas camadas de material plástico PLA (termoplástico biodegradável derivado de amido de milho, raízes de mandioca e cana) aquecido previamente em uma pequena câmara pressurizada. Por meio dessa tecnologia constrói-se um objeto tridimensional em um modelo computacional, por meio de softwares próprios para isso. Tanto o software quanto modelos computacionais prontos podem ser encontrados gratuitamente na internet. Outra maneira de se obter uma configuração 3D para impressão é o uso de *scanners* tridimensionais.

É importante entender que todo modelo é uma representação parcial da realidade. Studer e cols. [23] ressaltam que os modelos são apenas uma boa aproximação da realidade e que, no caso de modelos de impressão 3D, embora a peça possua características que a aproximam do objeto desejado, fica evidente que sempre há características impossíveis de reproduzir.

A versatilidade da impressão 3D impulsiona a criatividade dos alunos na resolução de problemas. Para a física, a visualização de conceitos é essencial para o progresso intelectual dos alunos, possibilitando trabalhar atividades experimentais mais eficazes ao ensino. Conforme afirma Alves Filho [5], essa atividade deve ser manipulada pelo professor como um objeto de ação, visando facilitar o ensino dos saberes. Seja criando a visualização de um conceito ou utilizando-se de arquivos disponíveis na internet para reproduzir experimentos, o aluno pode ser constantemente desafiado ao envolvimento

ativo no desenvolvimento da disciplina.

## 5. Desenvolvimento e resultados

O projeto foi composto por quatro encontros semanais de duas horas cada. Durante as aulas, os instrumentos utilizados foram:

- Arduino Uno R3;
- Protoboard 170 pontos;
- LED difuso 5 mm;
- Resistor de 220 ohms;
- Jumpers - Macho/Macho de 10 cm;
- Micro Servo Motor 9g SG90;
- Braço Robótico impresso em 3D;
- Raspberry Pi3 Pi 3 Model B Quadcore 1.2Ghz;
- Software de blocos lógicos Scratch.

Cabe salientar que em um ambiente de ensino enriquecido com muitos instrumentos, a concorrência pelo material mais atrativo se impõe e corre-se o risco de dispersar a atenção do aluno. Assim, a dinâmica da aula passa a ser de suma importância, sendo os elementos constitutivos do ambiente de estudo dados de maneira gradual, seguindo um cronograma predeterminado. Ele precisa oferecer condições de maleabilidade, devido às diferentes características de cada novo encontro.

Nesse cronograma os estímulos precisam ser direcionados para um objetivo comum, facilitando ao aprendiz o alcance das novas descobertas. A tecnologia também permite construir novas formas de avaliação, fazendo com que os alunos explorem os limites das atividades experimentais e, assim, cheguem a novas aplicações, fato

inovador inexistente no método tradicional.

A sala de aula foi configurada de maneira a favorecer as cinco relações: aluno-tecnologia, aluno-professor, aluno-aluno, aluno-ambiente e aluno-saber científico. Para isso, os estudantes foram organizados em grupos de três nas mesas, as quais foram dispostas pela sala em formato de retângulo. Na entrada da sala havia um quadro branco e projeção de slides, que eram utilizados apenas em momentos-chaves como, por exemplo, na introdução da aula ou nas explicações do funcionamento das tecnologias e suas aplicações.

No primeiro encontro, procurou-se conscientizar os alunos sobre o universo da aprendizagem, mostrando que há várias formas de ensinar e aprender e explicando qual o papel da memória, da atenção, dos sentidos e das percepções. Atentou-se também para o fato de que a aprendizagem não ocorre só no mundo das ideias, mas também no mundo físico, por meio de novas comunicações crescentes entre regiões cerebrais ao longo do tempo [16].

Os alunos foram apresentados aos materiais e puderam ver e manusear o Raspberry Pi, algumas peças impressas em 3D e o Arduino. Com isso, deu-se o início das práticas, motivando-os a montar um circuito com um resistor e um LED em uma protoboard, controlados por Arduino (Fig. 1).

Esse encontro foi estruturado seguindo os seguintes critérios:

- Iniciar a aula de forma conceitual

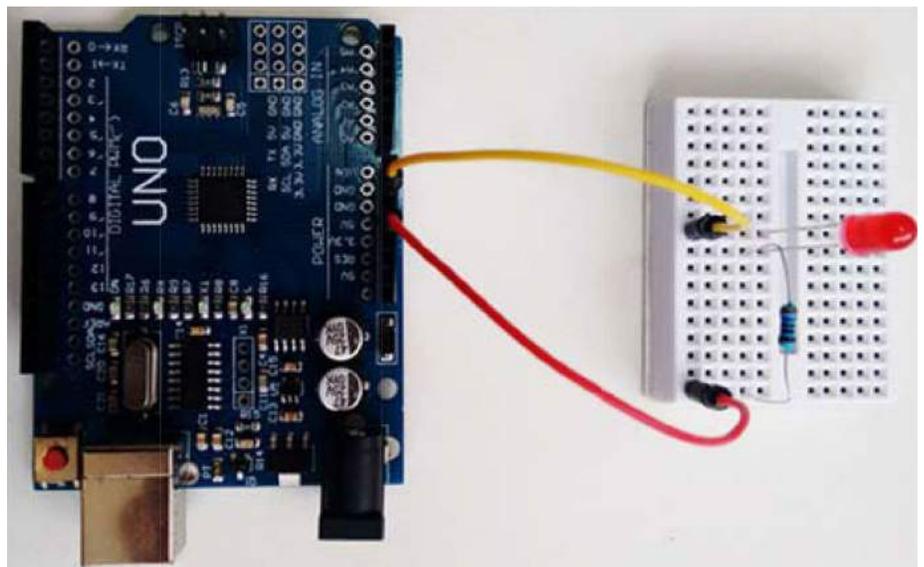


Figura 1 - Circuito com resistor e led.

para ajudar a entender como se dá o aprendizado da perspectiva da neurociência cognitiva [16];

- Apresentá-los às novas tecnologias utilizadas durante as aulas;
- Motivá-los a resolver um desafio tecnológico em grupo, com o mínimo de auxílio docente.

Os alunos, por sua vez, demonstraram grande interesse na atividade, participando ativamente, questionando, motivando-se mutuamente a trabalhar no circuito. A afinidade dos alunos com a proposta estabelecida era evidente. Isso confirma o pensamento de [10, 11], citados na seção 1, quando se referem à nova forma de aprender dos alunos atuais, também chamados de “geração conectada”.

No segundo encontro houve a escolha por abordar conceitos científicos a partir dos sentidos humanos: audição, tato, visão, olfato e paladar. O intuito foi conscientizá-los de que seus sentidos possuem limites e as descobertas científico-tecnológicas auxiliam nessa questão. As atividades aplicadas para evidenciar os limites de cada sentido humano foram:

- Visão: Infravermelho captado por uma câmera de celular e não por nossos olhos.
- Olfato: Perfumes intensos dificultam perceber perfumes suaves.
- Paladar: Ao experimentar limão e beber água pura, percebe-se um sabor no líquido.
- Audição: Variando a frequência de 20 Hz a 20.000 Hz verificam-se discrepâncias auditivas.
- Tato: Ao tocar em metal e em madeira confunde-se a percepção de

quente e frio.

No decorrer da aula, os alunos ficaram surpresos quando, por meio da mediação das atividades didáticas, descobriram a amplitude da natureza e a limitação dos seus sentidos. Por exemplo, é impossível determinar a temperatura com o tato, tampouco perceber com os olhos as ondas eletromagnéticas de frequências acima ou abaixo da faixa do espectro visível (de  $4,3 \times 10^{14}$  Hz até  $7,5 \times 10^{14}$  Hz). Essas descobertas trazem implicitamente uma característica emocional, envolvendo o estudante na busca por respostas pelos meios científicos [6]. Nesse sentido, esse processo educacional supera os estigmas criados social e cognitivamente que atribuem à física um caráter incompreensível e desconexo da realidade, agregando ao estudo uma sensação agradável de satisfação pelo sucesso do aprendizado.

Na inserção didática do servomotor, oportunizou-se sua conexão a um circuito controlado por três botões ligados ao Arduino já programado (Fig. 2).

Ao acionar os botões, era possível perceber que o servomotor realizava movimentos precisos. Nesse momento, houve uma intervenção teórica sobre ângulos e plano cartesiano, mostrando que o servomotor funciona com ângulos e a impressora 3D com plano cartesiano. Ao fim do encontro, com o transferidor, os alunos mediram os ângulos de rotação do servomotor e os compararam com os valores expressos na linguagem de programação exibida a eles por meio de slides.

Apesar de esse desafio ter sido mais complexo que o da aula anterior, os

alunos demonstraram um excelente nível de participação, empenhados na concretização do circuito proposto. Essas evidências indicam que a multidisciplinaridade utilizada se demonstrou potencialmente efetiva, uma vez que uniu o aprendizado à motivação [6].

O terceiro encontro iniciou-se com uma revisão da relação entre ângulos, força mecânica resultante, braço de alavanca e momento de uma força resultante. Nesse estágio, a *Peer Instruction* foi utilizada como ferramenta metodológica a fim de conduzir o processo.

Houve uma explicação dos passos a serem seguidos para a correta aplicação da metodologia, ou seja, uma pergunta seria projetada no *datashow* e o professor realizaria a leitura com eles. Na sequência, teriam um breve tempo para pensar em silêncio na resposta e chamar o professor para dizer em voz baixa qual a opção escolhida. Só após esta etapa poderiam socializar a escolha com seus colegas. Logo depois falariam em voz alta se mudaram ou não de alternativa. Os alunos foram submetidos a algumas questões das quais vale ressaltar três:

- Qual dos ângulos torna mais fácil suportar o peso de uma cadeira erguida do chão com os braços estendidos? a) 0°; b) 30°; c) 45°; d) 70°.
- Ao suportar o peso de uma cadeira erguida do chão, qual posição dos braços torna mais difícil esta tarefa? a) Braços totalmente estendidos; b) Braços semi flexionados; c) Braços formando um ângulo de 90° entre o braço e o antebraço; d) A posição dos braços não tem influência no esforço realizado.
- Como um guindaste pode diminuir o esforço feito por ele? a) trabalhando com ângulo de 0°, colocando o peso a ser erguido na extremidade da sua haste; b) o esforço de um guindaste não depende do ângulo da haste em que o objeto é içado; c) deslocando o objeto no sentido da extremidade para o centro do guindaste; d) o esforço de um guindaste não depende da posição em que o objeto é içado.

Houve dificuldades em seguir os passos estipulados pela metodologia *Peer Instruction*. A vitalidade discente e a urgência em expressar o que pensavam impediu a correta aplicação da metodologia; sendo assim, foi decidido que nos encontros seguintes os alunos seriam reunidos em grupos e colocados

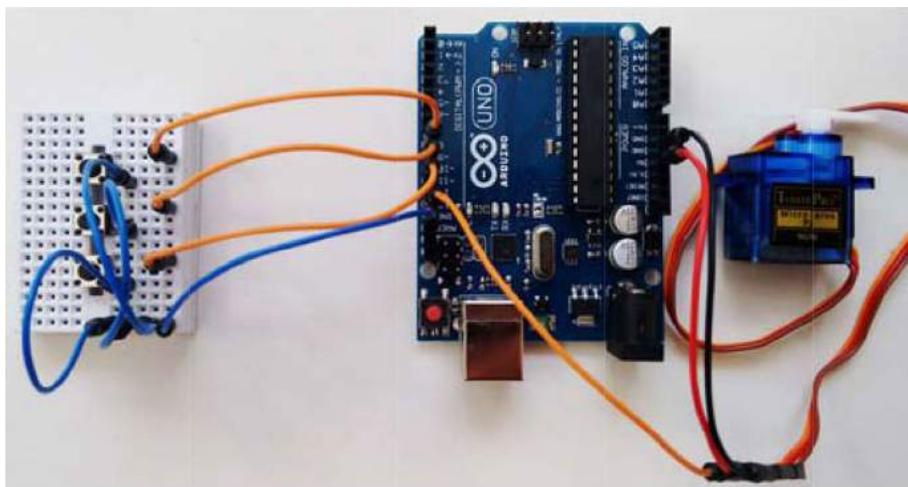


Figura 2 - Servomotor controlado por Arduino.

a fazer experimentos no modelo SCALE-UP. Mesmo dentre a confusão causada pelas falas e discussões simultâneas dos alunos, ficou evidente que havia divergência nas respostas, o que proporcionou a intromissão do professor para auxiliar nas explicações.

Foi então entregue um conjunto contendo as partes do braço robótico para a construção de um guindaste (Fig. 3), que deveria ser montado por eles.

Como conclusão da aula, a fim de revisar os conceitos físicos estudados, o professor chamou um aluno à frente e pediu que segurasse uma cadeira com os braços estendidos na horizontal. Percebendo sua força para sustentá-la, o professor perguntou aos alunos da sala o que ele poderia fazer para minimizar seu esforço. Duas respostas foram dadas; a primeira referia-se aos braços estendidos, afirmando que se ele os aproximasse do corpo ficaria mais fácil a sustentação; a segunda falava da inclinação dos braços para cima ou para baixo, interferindo no esforço feito. Desse modo, fica claro que os alunos se mostraram capazes de responder adequadamente, com sua linguagem própria, qual a relação existente

entre o comprimento da alavanca e o ângulo de inclinação, com o peso que ela suporta e a força que ela pratica.

No quarto encontro, a partir do guindaste construído pelos alunos, foi proposta a construção do braço robótico e sua ativação por meio do Arduino já programado (Fig. 4). Por ser uma tarefa mais exigente, houve auxílio constante do professor durante a montagem. O resultado alcançado promoveu nos alunos grande satisfação por serem capazes de completar a tarefa.

No decorrer desse último encontro, os alunos ainda foram convidados a desenvolver uma sequência lógica no software Scratch, inserido na plataforma do Raspberry Pi. O Scratch é uma linguagem de programação projetada pelo grupo Lifelong Kindergarten no MIT Media Lab [24]. Ele explora um conjunto de programações visuais focada na criação de uma sequência lógica de animações para um personagem criado pelo próprio aluno. Dessa maneira, é facilitada a aprendizagem da lógica de programação.

Durante o processo de desenvolvimento desse projeto, houve forte influência de três pensadores na sua configuração: Alves Filho [5], Maxwell *apud*

Evangelista [25] e Ausubel *apud* Peduzzi [26].

Alves Filho [5], ao definir a importância vinculada ao processo de atividades experimentais, afirma que estas atividades se comportam como objetos didáticos, resultantes de uma Transposição Didática de concepções construtivistas da experimentação e do método experimental. Sendo assim, deve ser versátil, a fim de mediar nas mais diferentes ocasiões em que ocorre o diálogo sobre o saber no processo de ensino-aprendizagem. Cabe salientar, que representa um objeto de ação que, manuseado corretamente pelo professor, fixa-se na fala construtivista favorecendo a definição do fenômeno didático que objetiva o ensino de saberes.

De maneira complementar, Maxwell [25] contribui ao dizer que quanto mais simples e familiares são os materiais apresentados aos estudantes, mais chances haverá de entender o que a atividade experimental pretende demonstrar. O valor educacional destas atividades é inversamente proporcional à sua complexidade. Os alunos quando submetidos a instrumentos simples, em geral, aprendem mais do que quando utilizam instrumentos cuidadosamente



Figura 3 - Conjunto do guindaste montado pelos alunos.

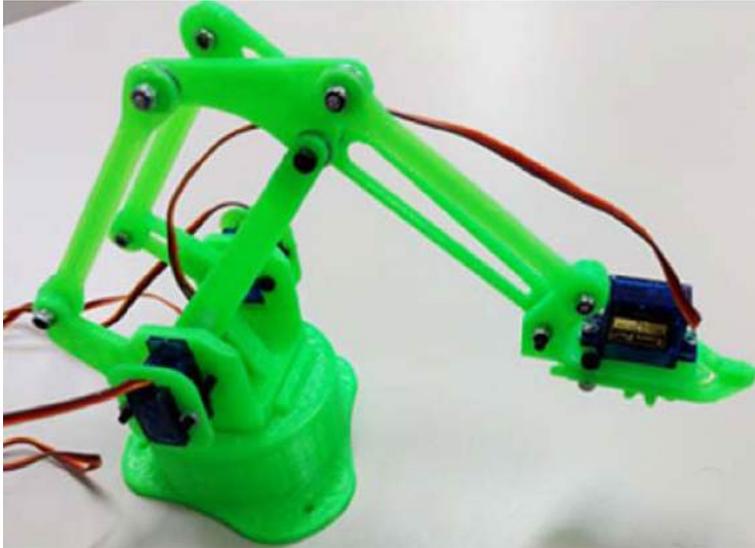


Figura 4 - Braço Robótico montado pelos alunos.

ajustados, nos quais tem confiança plena e não se atrevem a desmontar. É extremamente necessário a ajuda de exemplos ilustrativos acessíveis ao nível de abstração do aluno, para que assim, os saberes apresentados sejam reconhecidos fora do contexto escolar.

Por fim, a contribuição de Ausubel [26], ao tratar de seu modelo chamado aprendizagem significativa, desvenda uma verdade inquietante a respeito do real aprendizado dos alunos. Independentemente de quão significativo é a atividade experimental, se o aprendiz não quer aprender, tanto o processo de aprendizagem como a aprendizagem serão mecânicos ou sem significado. De igual forma, se o aluno estiver predisposto a aprender, nem o processo nem a aprendizagem serão significativos se o material não for significativo para ele.

Dentro desta concepção, seria no mínimo ingênuo suprimir do processo educativo a disposição discente de dar seguimento ao propósito pedagógico previamente estipulado pelo professor. Por mais que os alunos estejam inseridos num contexto educacional que valoriza suas ações e ideias, que lhes oferecem oportunidades significativas de desenvolver suas potencialidades acadêmicas e aprendizados, assim como aperfeiçoar a sociabilidade, de forma que as práticas experimentais estejam enriquecidas com o ponto de vista particular e a discussão em grupo, se ele não estiver disposto a participar, todo o processo de aprendizagem poderá ser sem significado.

## 6. Dicas para realizar a sequência didática

O Raspberry Pi pode ser substituído por um computador ou notebook. Porém, se há o desejo de fazer uso dessa plataforma eletrônica, a configuração do sistema operacional para fazer o Raspberry-Pi funcionar com o Scratch pode ser encontrada por meio de uma pesquisa nos sites de buscas. Como sugestão coloca-se o endereço de Mundotibrazil [27].

Mesmo sendo a impressão 3D um recurso fantástico, nem todos tem a habilidade necessária para projetar um braço robótico ou a impressora 3D. Para tanto, como material suplementar pode-se utilizar o projeto do braço oferecido do site Howtomechatronics [28]. Outra opção é comprar o braço já pronto [29].

Cabe salientar que o Scratch utilizado não foi o da versão modificada para interagir com o Arduino, mas caso haja o desejo de seguir por esse caminho, veja no site S4A [30].

Fica como sugestão outra forma de programar o Arduino parecida com o Scratch, porém integrada diretamente na IDE desse equipamento, o ArduBlock [31].

Com relação aos códigos utilizados no do programa fonte Arduino:

- Para montar um circuito com um resistor e um LED em uma protoboard, controlado por Arduino (Fig.1), veja no site do Arduino [32].
- Para colocar o guindaste (Fig. 2) constituído por um servomotor e três

botes para funcionar, veja no site Arduinoecia [33].

- Para fazer o braço robótico funcionar, basta inserir códigos de movimentos para cada servomotor; para tanto, veja como acionar um servomotor no site Filipeflop [34].

## 7. Considerações finais

A sequência didática construída nesses quatro encontros fez uso de artefatos tecnológicos que, seguindo uma ordem pré-estipulada, motivou o estudo de conteúdos de física mediados por atividades experimentais construídas e manipuladas pelo aluno. A intenção foi estimular os alunos por meio de inovações tecnológicas conduzidas por metodologias mais ativas. Nesse sentido, foram abordados conceitos de momento de uma força e lógica, utilizando o diálogo e cinco relações discentes: Aluno-Aluno; Aluno-Tecnologia; Aluno-Ambiente; Aluno-Saber e Aluno-Professor.

A tecnologia foi tratada de maneira a ser facilmente utilizada e compreendida pelos alunos, entendida como parte de um todo e permeada pelas metodologias *Peer Instruction* e *SCALE-UP*. Essas características objetivam enriquecer as interações pertinentes e potencializar o processo de ensino e aprendizagem.

Quanto às motivações e estímulos didáticos destinados ao interesse do aluno pelo aprendizado, esse projeto foi em busca da inovação pedagógica, tornando possível conhecer as variáveis intrínsecas à inserção de tecnologias no contexto educacional, chegando ao consenso de que inovação não é sinônimo de inserção tecnológica, tampouco de novas metodologias. Inovar reflete a necessidade de integrar esses dois mundos.

No que tange ao processo de aprendizagem, os alunos devem ser o centro do processo, sujeitos ativos e corresponsáveis, junto com o professor, pelo processo de aprendizagem. Nesse contexto, o professor é visto como alguém que indica o caminho e os objetivos a serem alcançados, atuando como motivador e instrutor, direcionando os alunos no decorrer de cada atividade de modo a potencializar consideravelmente as chances de sucesso no aprendizado [8].

Houve indícios que os alunos conseguiram relacionar o conhecimento teórico com o conhecimento prático, encontrando significado no que foi estudado.

Com relação às dificuldades encontradas na aplicação desse trabalho, pode-se afirmar que algumas têm origem cultural nos julgamentos sobre a física, tida como disciplina árdua e sem conexão com a realidade. Verificou-se que esse fato vai além da sala de aula, enraizado no contexto social e familiar

dos estudantes. Outro ponto foi o descredito da inovação e seu baixo incentivo no contexto escolar brasileiro, traduzido na falta de parceiros que acreditem no investimento em inovação educacional e exemplificado pela dificuldade em conseguir um local para aplicar e dar prosseguimento ao pro-

jeto.

Como possível proposta de prosseguir o trabalho, avançando para os ensinos médio e superior, propõe-se uma formação continuada aos professores.

## Referências

- [1] J.C. Libâneo, *Adeus Professor, Adeus Professora? Novas Exigências Educacionais e Profissão Docente* (Cortez, São Paulo, 2006), v. 1, 104 p.
- [2] G. Grabowski, *Revista Textual* **2**, 17 (2013).
- [3] C.L. Fernandes, P.H.L. Nascimento, J.G.N. Soares, M.J. Oliveira, in: *Anais do III Congresso Nacional de Educação*, Natal, 2016 (Realize Eventos Científicos e Editora LTDA, Natal, 2016), p. 1.
- [4] J.N.G. Sanchez, *Dificuldades de Aprendizagem e Intervenção Psicopedagógica* (Artmed, Porto Alegre, 2004), v. 1, 312 p.
- [5] J.P. Alves Filho, *Atividades Experimentais: do Método à Prática Construtivista*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- [6] J.F. Custódio Filho, *Explicando Explicações na Educação Científica: Domínio Cognitivo, Status Afetivo e Sentimento de Entendimento*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- [7] A.P. Marcelo, A.V. Eliane, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 241 (2006).
- [8] L.M. Oliveira, L.M.F. Pereira, M.M. Souza, F.L. Evangelista, P.A.F. Aragão, in: *Anais do VII Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação*, Foz do Iguaçu, 2017 (Ciki, Foz do Iguaçu, 2017), p. 1.
- [9] M.N. Sampaio, L.S. Leite, *Alfabetização Tecnológica do Professor* (Vozes, Petrópolis, 2010), v. 1, 56 p.
- [10] S. Bennett, K. Maton, L. Kervin, *British Journal of Educational Technology* **39**, 775 (2008).
- [11] M. Prensky, *On the Horizon*. **9**, 1 (2001).
- [12] V. Otero, D. Peressini, K.A. Meymaris, P. Ford, T. Garvin, D. Harlow, C. Mears, *Journal of Teacher Education* **56**, 8 (2005).
- [13] O.D. Pastana, N. Claudionor, G. Italo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **40**, 1402 (2018).
- [14] T.F. Münte, E. Altenmüller, L. Jäncke, *Nature Reviews Neuroscience* **3**, 473 (2002).
- [15] R. Pelletier, J. Higgins, D. Bourbonnais, *BMC Musculoskeletal Disorders* **16**, 25 (2015).
- [16] R. Cosenza, L. Guerra, *Neurociência e Educação: Como o Cérebro Aprende* (Artmed, Porto Alegre, 2011), v.1, 151p.
- [17] E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual* (Prentice Hall, Saddle River, 1997), v. 1, 201 p.
- [18] Site Plickers <https://get.plickers.com/>, acesso em 2/1/2019.
- [19] R.J. Beichner, J.M.Saul, D.S. Abbott, J.J. Morse, D. Deardorff, R.J. Allain, J.S. Risle, *Research-Based Reform of University Physics* **1**, 2 (2007).
- [20] V.B. Henriques, C.P.C. Prado, A.P. Vieira, *Revista Brasileiro de Ensino de Física* **36**, 1 (2014).
- [21] Site Oficial Raspberry Pi, <https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-3-model-b/>, acesso em 29/1/2018.
- [22] Site Oficial Arduino, <https://www.arduino.cc/>, acesso em 29/1/2018.
- [23] R. Studer, B.V. Richard, D. Fensel, *Data and Knowledge Engineering* **25**, 161 (1998).
- [24] Site Scratch, <https://scratch.mit.edu/parents/>, acesso em 29/Jan./2018.
- [25] F.L. Evangelista, *Revista Educação, Artes e Inclusão* **1**, 1 (2008).
- [26] S.S. Peduzzi, *Uma Abordagem Ausubeliana ao Ensino de Eletricidade e Magnetismo em Nível Universitário Básico*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981.
- [27] Site Mundotibrasil, <https://www.mundotibrasil.com.br/como-baixar-e-instalar-o-sistema-operacional-no-raspberrypi-3/>, acesso em 1/1/2019.
- [28] Site Howtomechatronics, <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control/>, acesso em 3/1/2019.
- [29] Site Produto, [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1011158920-kit-braco-robotico-educacional-para-arduino-sem-servos-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1011158920-kit-braco-robotico-educacional-para-arduino-sem-servos-_JM), acesso em 4/1/2019.
- [30] Site S4A, <http://s4a.cat/>, acesso em 4/1/2019.
- [31] Site Teachduino, <http://teachduino.ufsc.br/ardublock-edicao-para-fisica/>, acesso em 4/1/2019.
- [32] Site Arduino, <https://www.arduino.cc/en/tutorial/blink>, acesso em 2/1/2019.
- [33] Site Arduinoecia, <https://www.arduinoocia.com.br/2013/06/controlando-um-servo.html>, acesso em 2/1/2019.
- [34] Site Filipeflop, <https://www.filipeflop.com/blog/micro-servo-motor-9g-sg90-com-arduino-uno/>, acesso em 2/1/2019.



# Ensinando física através dos malabares

• • • • •

**Emanuel H.A. Azevedo**

Instituto de Engenharia, Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Janaúba, MG, Brasil

**João M.N. da Silva**

Escola Estadual Barão de Gorutuba, Janaúba, MG, Brasil

**Jean C.C. Felipe\***

Instituto de Engenharia, Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Janaúba, MG, Brasil

## RESUMO

*O ensino de física através dos malabares sugere uma maneira diferente, criativa e atraente de ensinar e aprender física. Muitos profissionais da área da educação (particularmente aqueles ligados às ciências exatas) perguntam-se como ensinar de maneira efetiva conteúdos que são tratados pela maioria dos estudantes como complicados e sem utilidade, como é o caso dos conteúdos da física. Logo, partindo dessa premissa, o presente trabalho tem por objetivo apresentar aos estudantes dos anos iniciais do Ensino Médio conceitos físicos pertinentes a partir dos mais variados movimentos dos malabares.*

**Palavras-chave:** técnicas de ensino; ensino de física; malabares

• • • • •

## 1. Introdução

O ensino de determinados conceitos nas mais diversas áreas do conhecimento vem sendo objeto de intensos estudos nos últimos anos. Com a física não poderia ser diferente, uma vez que tal disciplina tende a ser um pouco mais complexa (do ponto de vista de ensino), uma vez que os alunos já possuem um preconceito muito ruim a respeito dela.

Alguns autores defendem que uma das funções da escola é possibilitar o acesso aos conhecimentos previamente produzidos e sistematizados [1]. Entretanto, a transmissão do conhecimento parte de práticas conservadoras, que podem, na grande maioria das vezes, tornar o aprendizado monótono para aqueles que se dispõem a aprender sobre determinado assunto [2]. No caso específico do conteúdo de física do Ensino Médio no Brasil, as dificuldades na transmissão desse conhecimento vêm aumentando, já que essa transmissão segue há cerca de 150 anos um mesmo padrão, aderindo a livros didáticos de objetivos semelhantes e experimentos predefinidos, atrasando um possível progresso do ensino e impedindo uma melhor formação por parte dos estudantes [3].

Diferentemente do que se vê no Ensino Fundamental (excetuando-se os anos finais do mesmo), o Ensino Médio chega trazendo aos estudantes novas matérias e percepções sobre a natureza que os cerca, via conteúdos de química, biologia, matemática etc., conteúdos em sua grande parte novos para a maioria dos estudantes nessa faixa etária acadêmica. Dessa forma, a física é apresenta-

da como uma disciplina enigmática, já que envolve não somente conceitos acerca dos fenômenos naturais mas também um ferramental matemático robusto, necessário para o desenvolvimento de modelos e exercícios, por exemplo, o que acaba resultando em uma repulsa de ambos os conteúdos por parte dos discentes [4]. Perante isso, pesquisadores da área de educação perceberam a necessidade de elaboração de novas metodologias de ensino, satisfazendo os novos referenciais epistemológicos presentes na produção da ciência [5]. Inclusive, o ensino de física

**a física é apresentada como uma disciplina enigmática, já que envolve não somente conceitos acerca dos fenômenos naturais mas também um ferramental matemático robusto, necessário para o desenvolvimento de modelos e exercícios**

no Ensino Médio é responsável por instigar no aluno a curiosidade, já que a disciplina estuda e demonstra de forma científica fenômenos que estão todo o tempo a sua volta, como por exemplo: por que os pelos se arre-

piam quando encostados em algum material eletrizado ou por que quando se está em um elevador se tem a sensação de estar mais pesado ou mais leve, dependendo se o mesmo está em movimento vertical ascendente ou descendente. Nesse sentido, devido à necessidade de novas metodologias no processo de ensino-aprendizagem de física, pode-se fazer da arte do malabarismo uma possibilidade real e interessante para o estabelecimento desse conhecimento, tanto por parte do professor que leciona quanto por parte do aluno que aprende e processa tal conteúdo. A arte do malabarismo já é praticada há milênios. Segundo Karl-Heinz, no livro *4.000 anos de malabarismo*, a primeira evidência registrada do malabarismo está em imagens de túmulos

\*Autor de correspondência. E-mail: jean.felipe@ufvjm.edu.br.

egípcios que datam de 4.000 a.C. Existem também aparições do malabarismo em produções de cinema como o filme *Gladiador* e na série *Game of Thrones*, o que leva a entender que desde a era medieval tal arte já era amplamente praticada. A evolução dessas primeiras aparições até os dias atuais tornou o malabarismo no que conhecemos hoje, com cada malabarista criando seu estilo próprio para praticá-lo [7].

Perante a grande dificuldade no ensino de física e o amplo leque de aplicações e composições da prática do malabarismo, surgiu a ideia de ensinar física (especialmente o conteúdo de mecânica, presente nos anos finais do Ensino Fundamental e nos anos iniciais do Ensino Médio) através dos movimentos oriundos do malabarismo. Por meio dos movimentos que compõem a prática de malabares, podem ser abordados temas como leis de Newton, cinemática e dinâmica, entre outros. Uma vez que os malabares geralmente são apresentados em circos e eventos culturais, despertando instantaneamente o interesse e a curiosidade da plateia, por que não despertaria então o interesse dos discentes, tanto pela sua prática quanto pela parte científica de seu movimento (embora a grande maioria das pessoas não pense nessa parte, a não ser de forma intuitiva) [6]?

O ensino de física através do malabarismo consiste em uma abordagem alternativa, baseada em três pilares: aulas teóricas, demonstrativas e práticas, todas fundamentadas nos objetos de malabarismo (bolinhas, claves, *d'stick*, argolas, diabolô etc.) e na sua prática, possibilitando uma abordagem e uma visão totalmente diversificadas da habitual (já que são muitos os objetos utilizados para o malabarismo) e ao mesmo tempo atrativa, já que se trata de uma abordagem que não é vista no ambiente escolar de forma corriqueira.

É importante ressaltar que o objetivo deste estudo não é a comparação nem a discussão de metodologias de ensino e sim apresentar uma abordagem diferente para o ensino do conteúdo de física em sala de aula.

## 2. Os malabares e sua associação com alguns conceitos de física

Os objetos de malabarismo mais comuns e portados pelas pessoas que os praticam de maneira esportiva ou semiprofissional, seja por motivo de custo ou acessibilidade, são:

- Bolinhas de vinil de 80 mm e massa



Figura 1 - Exemplo de bolinhas de malabares. Fonte: David Arioch, Jornalismo Cultural, 2016.



Figura 2 - Exemplo de claves usadas por malabaristas. Fonte: DYM Malabares.

- de 140 g, preenchidas com painço, como mostrado na Fig. 1;
- Claves de plástico de 220 g cada, como pode ser visto na Fig. 2;
- Diabolô de 100 mm, confeccionado em plástico maleável, eixo central torneado, 270 g, e baqueta de madeira com cordão encerado, como pode ser visto na Fig. 3;
- *D'stick* ou bastão chinês, com corpo e baqueta revestidos com material emborrachado (EVA), com massa de 450 g, conforme pode ser visto na Fig. 4.

É necessário destacar aqui que há muitos outros, como o monociclo, a perna de pau, o rola-rola, o *swing poi* ou *flag*, argolas e pratos, por exemplo. Assim, sob essa ótica, o malabarismo pode vincular-se à física de maneira muito ampla e em vários aspectos. Como exemplo inicial, destaca-se a aplicação da equação de Torricelli,

$$v_f^2 = v_i^2 \pm 2 \cdot g \cdot h \quad (1)$$

que é utilizada para determinar a velocidade inicial a que uma bolinha deve ser lançada para atingir uma determinada altura (lembrando que na altura



Figura 3 - Diabolô, instrumento muito utilizado nas práticas circenses de malabares. Fonte: Research Gate, Eva Furtado.



Figura 4 - *D'stick*, instrumento muito utilizado nas práticas circenses de malabares. Fonte: [www.gamamalabares.com.br](http://www.gamamalabares.com.br).

máxima a velocidade é nula). Caso seja necessário determinar o tempo de subida ou descida da bolinha, a equação horária da velocidade para o movimento retilíneo uniformemente variado pode ser utilizada, desde que seja conhecida a velocidade inicial da mesma, cuja expressão é descrita da seguinte forma:

$$v_f = v_i \pm g \cdot t \quad (1)$$

Já para descrever a posição da bolinha em qualquer instante de tempo, aplica-se a equação horária da posição.

$$h = h_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad (1)$$

Um comentário pertinente é que a Eq. (3) pode ser simplificada tomando-se, por exemplo, a altura inicial como sendo nula. Outro ponto a ser destacado é que, uma vez que estamos trabalhando com o movimento na vertical, utilizamos a aceleração da gravidade  $g$ .

Porém, a adaptação para movimentos na horizontal é feita trocando-se  $g$  por  $a$ , que comumente representa a aceleração para o movimento retilíneo uniformemente variado na horizontal.

Assim, através das Eqs. (1), (2) e (3) torna-se possível determinar qual a mínima velocidade  $e$ , por consequência, o tempo que um determinado malabar deve permanecer no ar para execução completa de um determinado movimento. Um exemplo interessante é o caso das bolinhas, para as quais, utilizando as equações apresentadas anteriormente, é possível determinar o tempo que uma deve permanecer no ar de modo que quando a mesma estiver retornando para a mão do malabarista, a outra já esteja subindo. Percebe-se que tais estimativas podem ficar extremamente complicadas à medida que se aumentam o número de bolinhas para execução de tal movimento. Já sob a ótica da cinemática e da dinâmica rotacional, os malabares permanecem importantes objetos para aprendizado. É possível, com algumas aproximações, determinar a velocidade angular da clave de malabarismo e do diabolô, que efetuam seu movimento em torno de um eixo arbitrário (em geral, passando pelo seu centro de massa). Esse movimento é de grande auxílio para a introdução de conceitos muito pouco abordados no Ensino Médio, que são o do movimento mais geral de um objeto (uma translação rígida seguida de uma rotação), bem como o do momento de inércia (que nada mais é que o conceito de inércia associado à massa dos objetos, porém estendida a corpos rígidos, que são objetos nos quais as distâncias relativas entre as partículas que os compõem permanecem inalteradas). No caso do diabolô e das claves, por exemplo, há presença de ambos os movimentos.

Nota-se um fator complicador, decorrente do fato de que o movimento das claves se assemelha bastante ao movimento das bolinhas, agora com o incremento de sua rotação em torno de um eixo fixo. Logo, analogamente ao movimento das bolinhas, há necessidade de que duas claves não estejam na mesma mão ao mesmo tempo, o que implica que há uma velocidade mínima de lançamento e um tempo mínimo de permanência no ar para que todas fiquem fora das mãos

o máximo de tempo possível. No caso do diabolô, para que o mesmo fique em equilíbrio, um conceito pouco abordado no Ensino Médio faz-se extremamente necessário, que é o conceito de momento angular e sua conservação, a fim de que o objeto permaneça girando o máximo de tempo possível. Observa-se então uma gama de conceitos físicos que podem ser abordados nos processos de ensino-aprendizagem dos estudantes dos anos finais do Ensino Fundamental e dos anos iniciais do Ensino Médio, na tentativa de inseri-los na física de maneira lúdica e divertida, o que auxilia na redução de sua repulsa pela matéria.

### 3. Metodologia e detalhamento da atividade

Com o objetivo de verificar a validade do método de ensino proposto, do ponto de vista pedagógico, foram realizadas aulas de física nos moldes apresentados na seção anterior (ou seja, baseadas no ensino através dos malabares), tendo como público-alvo três turmas da 1ª série do Ensino Médio de uma escola estadual, localizada no município de Janaúba-MG. As aulas foram realizadas pelo discente idealizador do projeto, supervisionado por todo o tempo pelo seu orientador. No total, foram ministradas seis aulas de 50 minutos cada, fazendo uso constante dos malabares, para uma demonstração palpável da física, sendo que em todas as aulas o professor titular da disciplina de física esteve presente, auxiliando na ministração das aulas de acordo com um plano de ensino preestabelecido, o

qual foi dividido da maneira descrita a seguir. A primeira aula foi desenvolvida de maneira mais dinâmica e voltada para a apresentação dos malabares aos alunos, ocasião em que alguns deles tiveram o primeiro contato com os malabares profissionais e artesanais e uma experiência de manuseio básico de cada um; na segunda aula, o conceito e a aplicação da equação de Torricelli foram apresentados aos alunos e, a partir dela, ensinou-se como calcular a velocidade inicial com

Conceitos como o de momento de inércia, que é pouco abordado nos anos iniciais do ensino médio, são apresentados de forma intuitiva através do movimento de rotação inerente a alguns malabares

que uma bolinha de malabares deve ser arremessada para alcançar altura pré-estipulada e, fazendo uso do resultado obtido juntamente com a equação horária da velocidade, determinou-se o tempo levado pela bolinha para atingir a posição na qual  $v_f = 0$  (velocidade na altura máxima), mostrando o resultado, tanto analiticamente quanto diagramaticamente em um plano cartesiano, para que os alunos entendessem melhor os conceitos

acerca de movimentos bidimensionais e tridimensionais. Em seguida, o conceito de centro de massa de um sistema físico foi explicado, juntamente com a citação de vários objetos do cotidiano dos estudantes para comparação com os malabares; na terceira aula, apresentaram-se aos alunos os conceitos gerais da cinemática e da dinâmica de rotação como, por exemplo, movimentos de rotação de objetos em torno do seu próprio eixo, presentes nas claves e no diabolô, mostrando como calcular a velocidade angular média de ambos e apresentando também questões sobre unidades de medida, explicitando aos estudantes a unidade de medida da grandeza que estavam calculando, fazendo isso para todas as situações apresentadas. Foram explorados também os conceitos de aceleração angular, momento angular e conservação do momento angular, presentes, por exemplo, no movimento do diabolô, que quanto mais acelerado, devido ao aumento da velocidade acarretado pela força externa aplicada (mãos do malabarista), apresentará maior equilíbrio e, por consequência, maior momento angular. Já na quarta aula, buscou-se abordar o conceito de momento de inércia, o qual expressa o grau de dificuldade em se alterar o estado de movimento de um corpo em rotação e cuja quantificação se faz a partir da equação

$$I = m \cdot r^2, \quad (4)$$

onde  $m$  representa a massa do objeto e  $r$  indica a distância do ponto onde se aplica a força até o eixo de rotação do objeto. Como exemplos práticos foram analisados os movimentos do diabolô e do monociclo. O estudo de torque também foi explorado nessa aula, sendo tal conceito construído pela exemplificação direta dos movimentos da clave e

do diabolô, bem como exemplos do cotidiano dos estudantes, como tirar um parafuso da roda de um carro ou o ponto certo em que se deve pegar em uma maçaneta para abrir ou fechar uma porta. No âmbito da quinta aula, a fim de ratificar o aprendizado dos estudantes no que tange aos conceitos físicos apresentados e sua relação com os movimentos dos malabares, foi proposta a resolução de exercícios que englobassem cada movimento estudado, com a finalidade de consolidação da aprendizagem. As questões propostas foram as seguintes:

1. Calcular a velocidade inicial com que uma bolinha de malabares deve ser lançada para alcançar determinada altura (altura essa predeterminada de forma que mais de duas bolinhas pudessem ficar no ar e fora das mãos ao mesmo tempo);
2. O tempo de subida da bolinha, baseado no enunciado da questão 1;
3. Qual deve ser a velocidade angular média para uma chave completar um giro de  $360^\circ$  em um dado intervalo de tempo (o intervalo de tempo ficou a critério dos alunos).

Após a apresentação das questões, concedeu-se um determinado tempo para que os alunos as respondessem. Em seguida, os exercícios foram resolvidos na lousa para que todos pudessem acompanhar sua resolução, bem como efetuar correções quando necessárias, e para que pudessem entender também onde foram cometidos os equívocos, fossem eles operacionais ou conceitu-

ais. Por fim, na sexta aula aplicou-se junto aos alunos um questionário simples para avaliar o método de ensino proposto, contendo sete questões argumentativas a respeito das aulas ministradas, questionando os alunos acerca do entendimento da física apresentada e a forma como foi apresentada, bem como se é válida a ideia de ensinar física através do malabarismo e qual sua avaliação das aulas ministradas. Em seguida, as respostas dos alunos foram analisadas e colocadas em gráficos para uma melhor interpretação e avaliação dos resultados do projeto.

**Os resultados apresentados servem como um balizador, visando uma melhoria na exposição e na inclusão de conteúdo a ser abordado com os estudantes**

#### 4. Análise dos resultados

Os gráficos e comentários apresentados a seguir são fruto da análise do questionário citado na seção anterior e que foi respondido por 63 estudantes, abrangendo três turmas de 1ª série do Ensino Médio de uma escola pública na cidade de Janaúba, MG, sendo a Turma A com 30 alunos, a Turma B com 18 alunos e a Turma C com 15 alunos. O questionário diz respeito ao ensino de física utilizando o malabarismo e seus movimentos, cujo objetivo era tentar uma abordagem diferente no que tange ao ensino da disciplina, na busca por melhorar o desenvolvimento dos estudantes na mesma. O questionário procurou verificar a eficácia da fonte motivadora (movimentos dos malabares) e também

o nível de interesse dos estudantes para o estudo de física diante dessa abordagem. O questionário, composto por sete questões, deixa evidente o interesse em saber se os alunos compreenderam os conceitos físicos por trás dos movimentos dos malabares – cinemática de translação e rotação, centro de massa (movimentos relativos ao mesmo e do mesmo) – e se acharam a ideia de ensino válida e eficiente. As questões propostas foram constituídas por duas alternativas: uma de negação e uma de afirmação, seguida de justificativa. Para uma análise mais detalhada das respostas dos estudantes, elaboraram-se gráficos de barras em que as respostas foram separadas por cores (*Sim* na cor azul, *Não* na cor vermelha e *Não responderam* na cor verde). Como título dos gráficos, foram colocadas as questões apresentadas, bem como a estatística de cada uma, baseada nas respostas do público-alvo do projeto.

O gráfico da Fig. 5 representa as respostas dos alunos por turma em relação à questão apresentada. Analisando do ponto de vista quantitativo, mais da metade dos alunos das três turmas compreenderam os conceitos acerca do movimento de partículas a partir do estudo do lançamento de bolinhas de malabares, mostrando que de fato esse método de ensino é eficaz no ensino de conceitos de física. Foram diagnosticada-

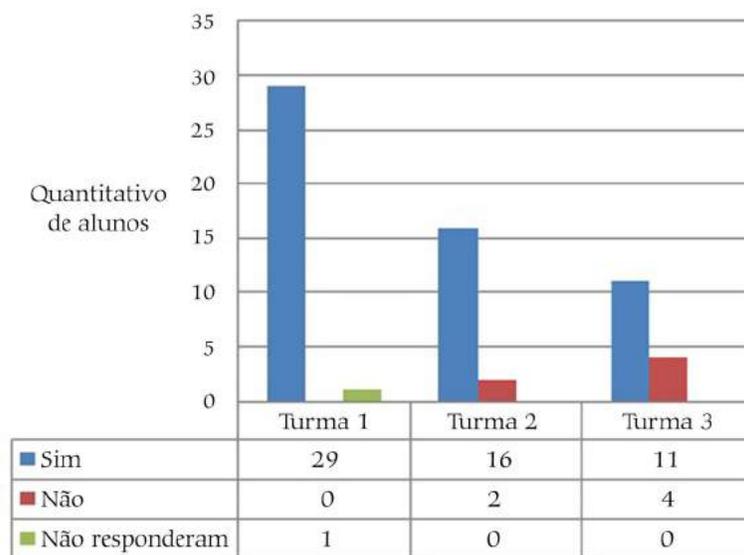


Figura 5 - Questão 1: Ficou claro o entendimento acerca do movimento de partículas, tendo por base o movimento das bolinhas de malabares?

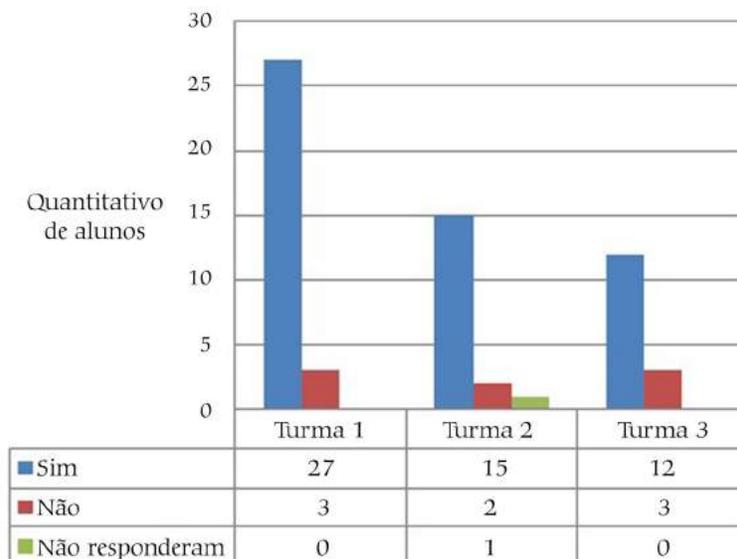


Figura 6 - Questão 2: Qual equação pode ser utilizada para o cálculo da velocidade com que a bolinha deve ser arremessada inicialmente para alcançar a altura de 0,5 m? Você conseguiria realizar esse cálculo baseado na teoria que lhe foi apresentada no estudo do movimento dos malabares?

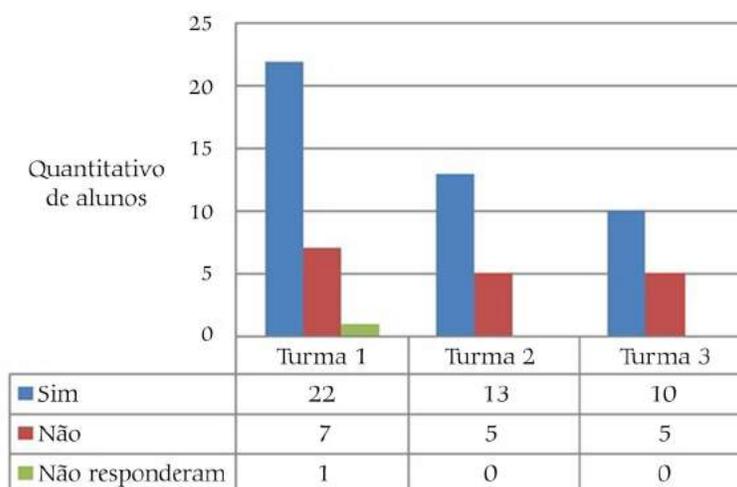


Figura 7 - Questão 3: O que é centro de massa? Você seria capaz de relacionar tal conceito ao movimento do diabolô e do *d'stick*?

dos também os alunos que responderam negativamente à questão, tendo como justificativa sua ausência em pelo menos uma das aulas propostas pelo projeto.

O gráfico apresentado na Fig. 6 representa a estatística das respostas dos alunos por turma em relação à Questão 2. Analisando do ponto de vista quantitativo, mais de 80% dos alunos de cada turma souberam responder qual equação utilizar para o cálculo da velocidade inicial para uma bolinha de malabares alcançar uma altura pré-estipulada, sendo que a maior parte das justificativas positivas apresentadas mencionou a equação de Torricelli. Isso demonstra mais uma vez que os alunos

compreenderam os conceitos físicos envolvidos nessa proposta de ensino.

Analisando-se o gráfico da Fig. 7, percebe-se que nas três turmas muitos alunos não compreenderam o conceito de centro de massa. Dentre as justificativas apresentadas tem-se: dificuldade com essa parte específica da matéria, falta de empatia com a prática dos mesmos e rapidez com que os movimentos são executados. Um comentário importante acerca da resposta dessa questão remete ao ensino específico dessa parte do conteúdo por parte dos professores de física das escolas públicas. O conceito de centro de massa não é abordado no conteúdo programático da grande maioria das escolas de Ensino Médio de

escolas públicas, o que explica a dificuldade de entendimento do conceito, o que foi ratificado pelo gráfico apresentado. Esse resultado serve como um balizador visando uma melhoria na exposição e na inclusão de conteúdo a ser abordado com os estudantes da 1ª série do Ensino Médio das escolas públicas de maneira geral, o que pode ser uma desvantagem em relação às escolas privadas, que abordam esse conteúdo de maneira bastante incisiva, bem como outros conteúdos que não fazem parte da grade curricular das escolas públicas.

O gráfico exibido na Fig. 8 apresenta a análise das respostas dos estudantes quanto aos conceitos envolvidos no

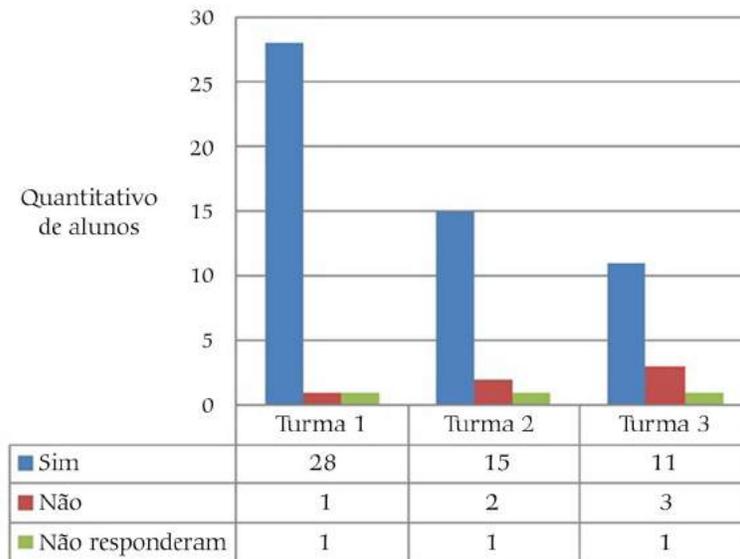


Figura 8 - Questão 4: Você foi capaz de entender os conceitos da cinemática rotacional (velocidade angular, momento angular e sua conservação, dentre outros) através dos movimentos dos malabares?

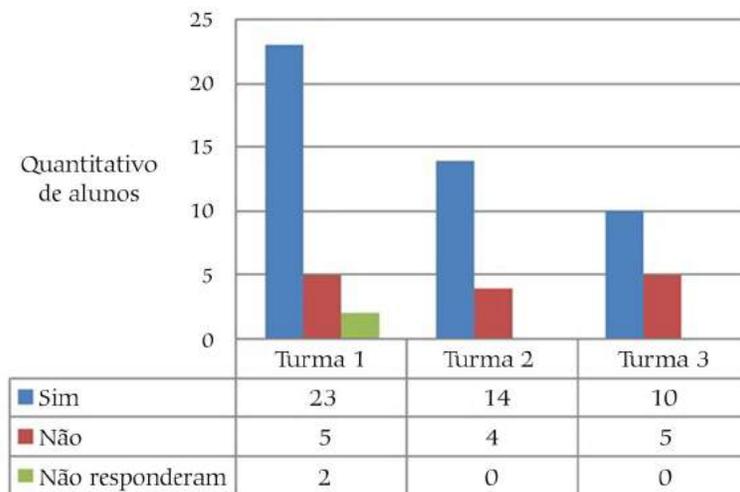


Figura 9 - Questão 5: Você seria capaz de citar dois exemplos sobre torque e momento angular baseado no que foi apresentado durante as explicações em sala de aula?

estudo da cinemática rotacional. Percebe-se que a grande maioria dos alunos compreendeu o conceito por meio do movimento dos malabares. Parte desse entendimento deve-se à incessante analogia com a cinemática translacional, o que foi fundamental para a compreensão de tais conceitos por parte dos alunos, uma vez que eles não são abordados pelos professores. Os professores acabam falando rapidamente de tais conceitos, sem o aprofundamento devido, levando ao não-conhecimento desses conceitos por parte dos alunos, o que pode ser verificado pelo gráfico, dado o número significativo de respostas negativas, se comparado com as respostas negativas apresentadas nas outras

questões.

O gráfico apresentado na Fig. 9 avalia a capacidade dos alunos de citar ao menos dois exemplos de seu dia a dia que envolvam os conceitos de torque e momento angular, respectivamente. Pelo gráfico, nota-se que grande parte dos alunos de cada turma foram capazes de citar exemplos envolvendo os conceitos abordados na pergunta, o que corrobora o resultado apresentado na Fig. 8, que mostra a assimilação e o entendimento desses conceitos por parte dos alunos. Do ponto de vista qualitativo, a resposta dos alunos foi, em sua grande maioria, “tirar um parafuso de uma roda de carro com uma chave de roda” e “abrir e fechar uma porta”, do ponto de

vista do giro da maçaneta.

Já o gráfico apresentado na Fig. 10 apresenta a aceitação por parte dos estudantes ante a abordagem proposta para o ensino de física através dos malabares e também se o mesmo é eficiente, sob esse ponto de vista. Percebe-se que a maioria (mais de 50% dos alunos de cada turma) mostrou-se favorável a essa abordagem para o ensino de física, mostrando que o paralelo entre física e as artes circenses pode produzir bons frutos, do ponto de vista do aprendizado de conceitos físicos aliados aos malabares e sua história, bem como sua prática. É importante ressaltar que, uma vez que havia um espaço para a justificativa das respostas por parte dos

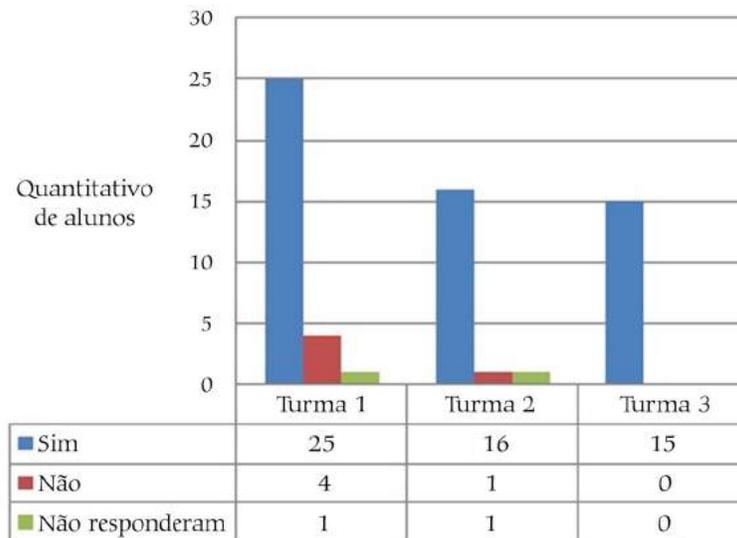


Figura 10 - Questão 6: Você achou válida a ideia do ensino de conceitos de física pelo uso dos malabares? É uma maneira eficiente para o aprendizado da disciplina?

estudantes, aqueles que responderam negativamente a essa questão não demonstraram muito interesse na atividade com os malabares, o que acabou culminando com a não concordância dos mesmos de que os malabares sejam um meio eficiente para o aprendizado de conceitos de física.

## 5. Conclusões

O método de ensino proposto, que consiste em ensinar conceitos de física por meio da arte do malabarismo, teve muito boa recepção e aceitação por parte dos estudantes (público-alvo do projeto), o que corrobora essa abordagem como sendo, de fato, uma alternativa de ensino. Juntamente com as perguntas do questionário, apresentou-se uma avaliação sobre essa nova abordagem, em que os alunos deram uma nota de acordo com o seguinte escalonamento: 1 (péssimo), 2 (regular), 3 (bom), 4 (muito bom) e 5 (ótimo) para o trabalho realizado. E, ante as respostas dadas pelos alunos, é possível concluir que o método de ensino de física pelo malabarismo teve uma excelente aceitação por parte dos alunos, cujas respostas foram 84% positivas, como pode ser observado no gráfico da Fig. 11.

Um comentário importante é que o

professor titular da disciplina de física na escola em que o projeto foi executado também é praticante de malabarismo, o que acabou sendo um fator de extrema relevância para o êxito em sua execução. Em uma conversa posterior com os estudantes envolvidos, ele afirmou que o método despertou mais o interesse dos alunos pelo conteúdo de física abordado e, em um contexto mais amplo, tende a ter uma aceitação maior como uma maneira alternativa ao ensino de física, de maneira geral. Os estudantes participantes desse projeto alegaram também nunca imaginar que “havia física até mesmo no circo” e que realmente agora “ficou mais interessante estudar física”. Ressalta-se aqui que, apesar de o projeto ter sido executado com alunos da 1ª série do Ensino Médio, o método também despertou o interesse e a curiosidade dos alunos de outras séries da escola, uma vez que, ao passarem em frente à sala de aula onde o projeto estava sendo executado, percebiam algo diferente e paravam para perguntar do que se tratava. Assim, diante das respostas e da aceitação por parte dos estudantes quanto a essa nova maneira de abordar o ensino de física, o projeto abre possibilidades de aplicação em outras matérias, como ar-



Figura 11 - Avaliação por parte dos estudantes envolvidos no projeto quanto à proposta de ensino de física por meio de malabares.

tes, história e geografia, bem como sua extensão mais aprofundada para estudantes do ensino superior na disciplina de física 1, presente no ciclo básico da maioria dos cursos da área de ciências exatas e engenharias.

## Agradecimentos

Os autores Emanuel H.A. Azevedo, Jean C.C. Felipe agradecem à UFVJM e à SEE de Janaúba - MG pelo apoio. João M.N. da Silva agradece a SEE de Janaúba pelo apoio e incentivo.

## Referências

- D. Savini, *Escola e Democracia* (Editora Autores Associados, Campinas, 1996).  
M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **22**, 94 (2000).  
M. Robillota, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **5** (1988).  
C.W. da Rosa, A.B. da Rosa, *Revista Iberoamericana de Educación*, **58**, 58/2 (2012).  
J.J.B.Almeida, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **2**, 55 (1980).  
M.A.C. Bortoleto, *Introdução à Pedagogia das Atividades Circenses* (Editora Fontoura, Várzea Paulista, 2008).  
<http://www.newronio.net>.



# O uso de experimentos na abordagem de física no ensino fundamental: O fenômeno da fluorescência

.....

**Natália Quinquiole<sup>1\*</sup>**

Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brasil

**Natan Quinquiole<sup>2</sup>**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, SP, Brasil

**Marcelo Ribeiro**

Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brasil

## RESUMO

*O ensino de física contemporânea na educação básica enfrenta diversas dificuldades, seja nos conteúdos, considerados difíceis pelos alunos, seja nas formas utilizadas pelos professores, ou ainda no compartilhamento de conteúdo com outras disciplinas, como a química. A física atômica, que visa estudar a estrutura eletrônica dos átomos, apresenta grande variedade de temas que podem ser abordados de forma interativa em sala de aula, contribuindo para despertar o interesse dos alunos e criar conexões entre teoria e realidade. O presente trabalho buscou utilizar experimentos simples e de baixo custo para explicação e observação do fenômeno da fluorescência a partir da incidência de radiação ultravioleta em determinadas substâncias, conectando o dia a dia dos alunos aos conhecimentos científicos estudados na física moderna em turmas do 8º ano do ensino fundamental.*

**Palavras-chave:** física atômica; ensino de física; fluorescência

.....

## 1. Introdução

O conteúdo programático na área de física das escolas é eficiente ao focar o ensino na chamada física clássica, que abrange conteúdos importantes, mas frequentemente considerados difíceis ou desinteressantes pelos alunos. Já em áreas da física contemporânea, como a física atômica, muitas vezes os conteúdos são delegados à disciplina de química. Fischler e Lichtfeldt [1] colocam que a aprendizagem de física moderna se torna difícil porque, apesar de tratar de conteúdos contemporâneos, os exemplos e analogias remetem à física clássica, deixando a visão do aluno restrita a esses conceitos.

Ostermann e Moreira [2] levantam em seu trabalho diversas considerações sobre a importância da introdução da física moderna no currículo escolar de forma efetiva, buscando trazer a ciência presente no cotidiano para a sala de aula, considerando que o estudo desses assuntos é significativamente instigante, pois não está restrito a trabalhos de pesquisadores antigos e fora da contemporaneidade dos jovens, mas, ao contrário disso, permite que o aluno interaja com cientistas atuais, “falando na televisão sobre seus experimentos e expectativas para o futuro.”

Para Terrazzan [3] a escola e o professor devem estar dispostos a adotar novas metodologias para o ensino de física que não se restrinjam a aulas teóricas e experimentos clássicos, considerando de maneira diferente cada conteúdo a ser ensinado. O autor ressalta que cabe ao professor, como mediador

nesse processo de ensino-aprendizagem, escolher e adaptar a metodologia mais adequada a seu estilo e forma de lecionar.

A física atômica é responsável por estudar, entre outros assuntos, a estrutura eletrônica dos átomos. Apesar de tratar de conceitos importantes para diversos fenômenos físicos e químicos, conforme ressaltam Nery e Fernandez [4], existe uma dificuldade considerável na aprendizagem desses temas, que é a falta de experimentos que possam demonstrar o que é ensinado, tornando o assunto “ainda mais inacessível e, não raro, sem significado para os alunos”. Nesse contexto, portanto, objetivamos demonstrar o uso de experimentos simples e de baixo custo para explicação e observação do fenômeno de fluorescência a partir da incidência de radiação ultravioleta em determinadas substâncias,

**A aprendizagem de física moderna se torna difícil porque, apesar de tratar de conteúdos contemporâneos, os exemplos e analogias remetem à física clássica, deixando a visão do aluno restrita a esses conceitos**

conectando o dia a dia dos alunos aos conhecimentos científicos estudados na física moderna.

Para fornecer uma base teórica aos alunos, dando os subsídios necessários para a compreensão

do tema abordado, foi desenvolvido um conteúdo teórico de fácil leitura e compreensão, impresso em forma de cartilha explicativa, elaborado com base em materiais didáticos da área de física e química.

### 1.1. O átomo e o modelo atômico de Rutherford-Bohr

O átomo é a unidade básica da matéria, composto por partículas conhecidas como prótons (positivos), nêutrons (neutros) e elétrons (negativos). É formado por um núcleo de prótons e

\*Autor de correspondência. E-mail: natalia.quinquiole@usp.br.

nêutrons e por uma nuvem eletrônica (eletrosfera), onde estão localizados os elétrons. Diversos foram os modelos atômicos estudados na história da humanidade. Desde as concepções mais filosóficas defendidas pelos gregos Leucipo e Demócrito, ainda no século V a.C., até os primeiros modelos atômicos baseados em evidências, com o inglês John Dalton, no fim do século XVIII d.C. e começo do século XIX d.C.. Mas foi apenas no século XX que o físico dinamarquês Niels Bohr aperfeiçoou o modelo proposto pelo seu orientador, o físico-químico neozelandês Ernest Rutherford, que comparava o átomo ao Sistema Solar.

Segundo o modelo proposto por Bohr, o átomo, com seu núcleo formado por prótons e nêutrons, era cercado por elétrons em órbita circular. Essas órbitas possuíam valores de energia bem definidos, bem como os elétrons que a habitavam. Bohr também afirmava em seu modelo que os elétrons, ao absorverem energia, eram capazes de se movimentar para órbitas mais externas, através de saltos, e, ao retornarem para o seu estado fundamental, liberavam essa diferença de energia em forma de luz.

Dentre os fenômenos de emissão de luz decorrentes desse movimento dos elétrons estão a fosforescência, a fluorescência e a bioluminescência. A fosforescência ocorre quando o elétron energizado volta para um nível intermediário, liberando luz num processo lento que pode durar desde alguns segundos até alguns dias. Já a fluorescência se dá quando o elétron energizado volta imediatamente ao campo inicial. Esse processo ocorre somente enquanto a fonte de energia estiver presente, excitando os elétrons. A bioluminescência, por sua vez, ocorre quando um organismo vivo produz e emite luz por meio da energia liberada em reações químicas, como a luz emitida por vagalumes.

### **1.2. Luz visível e cores – ondas eletromagnéticas**

A luz visível é um tipo de energia que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas dentro do espectro que o olho humano é capaz de reconhecer. A luz possui várias frequências diferentes que conferem a ela cores que vão desde o vermelho até o violeta.

Nossa capacidade de enxergar está ligada à maneira como percebemos a luz. A maioria dos objetos não possui luz própria e, portanto, só podemos vê-

los porque uma luz incide sobre sua superfície e parte dessa radiação é refletida para nossos olhos. Nesse contexto, podemos dizer que um objeto de cor preta absorve a maior parte da luz incidente. Já um objeto de cor branca reflete a maior parte dessa luz.

No caso de um objeto percebido como colorido e monocromático (ex.: azul, vermelho, verde etc.), ocorre que a cor que lhe é atribuída é decorrente da faixa de radiação que ele reflete. Por exemplo, um objeto visto por um observador como vermelho está refletindo uma faixa de radiação próxima do vermelho e absorvendo o restante.

### **1.3. Radiação ultravioleta – luz negra**

A radiação ultravioleta (UV) é um tipo de radiação eletromagnética que possui um comprimento de onda menor que o da luz visível e maior que a dos chamados raios X; portanto, não é visível ao olho humano. Diversas substâncias, quando expostas à radiação ultravioleta (ex.: luz negra), comportam-se de maneira diferente de quando submetidas à luz comum (ex.: luz visível), apresentando o fenômeno da fluorescência. Esse fenômeno ocorre pela absorção de energia pelos elétrons nos átomos dessa substância, que se tornam excitados e mudam de nível energético. Quando retornam ao nível fundamental, a energia em excesso que esse elétron absorveu é liberada na forma de luz visível – a fluorescência.

## **2. Metodologia**

Para realização deste trabalho foram utilizadas duas aulas de 50 minutos cada em duas turmas de 8º ano em uma escola particular do município de Lorena, totalizando 32 estudantes.

No primeiro momento, foi solicitado aos alunos formarem quatro grupos, de forma livre. Uma vez reunidos, cada grupo recebeu uma cartilha e os materiais necessários para a realização dos experimentos. A professora então iniciou a problematização dos conteúdos, de forma cuidadosa para estimulá-los sem tornar a teoria desinteressante ou de alguma maneira de difícil entendimento para os alunos. Nesse contexto, utilizou exemplos e curiosidades próximas do contexto dos estudantes, como uso de tintas de rosto fluorescentes, drinques brilhantes feitos em festas,

marca-textos com brilho diferente etc. e conduziu a explicação de acordo com a interação e a participação dos alunos.

Considerando que o conteúdo de ótica e atomística ainda não faz parte do conteúdo programático do 8º ano, os alunos foram submetidos a uma breve explicação teórica dos conteúdos relativos aos átomos e suas subpartículas, aos fenômenos fosforescência, fluorescência e bioluminescência, à luz e às ondas eletromagnéticas, às cores e também à radiação ultravioleta. De todos os conteúdos citados, foram focados os conteúdos sobre átomos, fluorescência e radiação ultravioleta, sendo discutidos de forma problematizada, criando uma relação com as disciplinas de química, física e biologia e com a realidade dos alunos, buscando despertar o interesse dos mesmos pela atividade. Os demais conteúdos foram citados de modo superficial, como forma de construir um encadeamento de ideias.

Distribuímos uma cartilha inicial de aplicação, que foi aprimorada após

**Já a fluorescência se dá quando o elétron energizado volta imediatamente ao campo inicial. Esse processo ocorre somente enquanto a fonte de energia estiver presente, excitando os elétrons**

os resultados obtidos, de modo que os estudantes puderam acompanhar não só o roteiro de desenvolvimento dos experimentos como a teoria abordada pela professora. Fei-

ta a discussão, os alunos realizaram experimentos com dois tipos de radiação (celular adaptado e lanterna de luz negra), que permitiram a visualização da fluorescência em quatro substâncias: água tônica, diluição de vitamina do complexo B, diluição clorofilada e tinta de canetas marca-texto. Após a realização dos experimentos, foi gerada uma cartilha de aplicação que foi disponibilizada a professores que a solicitaram. Os materiais utilizados para a realização da atividade apresentaram custo total de R\$ 34,76, conforme descrito a seguir:

Materiais necessários para realização dos experimentos

- Texto para grifar (apostila)
- 80 mL de água (bebedouro da escola)
- 80 mL de água tônica (R\$ 2,49 lata de 350 mL)
- Pincel marcador azul (R\$ 3,69)
- Marca-texto amarelo e uma régua rígida (recurso dos próprios alunos)
- Fita adesiva transparente (R\$1,00 rolo pequeno)
- Celular com lanterna (foram

utilizados os celulares dos próprios alunos, de diversas marcas e modelos)

- 6 folhas de espinafre ou hortelã (retirados da horta da escola)
- Lanterna de luz negra para identificação de dinheiro falso (R\$ 5,00)
- 1 comprimido de vitamina B (R\$ 16,69 frasco com 20 comprimidos)
- 80 mL de acetato de etila ou removedor de esmalte (R\$ 5,89 frasco 200 mL)
- Recipiente rígido para macerar

### 2.1. Adaptando a lanterna do celular para "luz negra"

Foram cortados 6 pedaços de fita adesiva transparente. O primeiro pedaço de fita foi colado sobre a lanterna do celular e pintado com o pincel marcador azul. Colamos então um pedaço de fita adesiva por cima e pintamos novamente. Esse procedimento foi realizado até obtermos cinco ou seis camadas pintadas sobre a lanterna. Esse processo foi feito para produzir uma luz semelhante à luz negra, conforme Fig. 1.

### 2.2. Água tônica

Em um copo transparente,



Figura 1 - Adaptação da lanterna do celular para luz semelhante à luz negra da lanterna.



Figura 2 - Folhas de espinafre maceradas antes da adição de acetato de etila.

colocamos cerca de 70 mL de água tônica e, com as luzes da sala apagadas, iluminamos o líquido com a adaptação do celular e com a lanterna de luz negra.

### 2.3. Clorofila - folhas de espinafre

No recipiente rígido, colocaram-se as folhas de espinafre e, com o pincel marcador, foram amassadas até sair um líquido esverdeado (Fig. 2). Adicionamos 80 mL de acetato de etila e mexeu-se devagar. Com cuidado, a solução diluída foi transferida para um copo limpo, sem os resíduos das folhas. Iluminamos o líquido com a adaptação do celular e com a lanterna de luz negra.

### 2.4. Marca-texto

Os alunos grifaram textos da apostila com um marca-texto amarelo e com o ambiente escuro iluminamos o texto com a adaptação do celular e com a lanterna de luz negra.

### 2.5. Riboflavina - comprimido de vitamina B

Sobre a carteira, usando uma régua rígida, amassamos um comprimido de vitamina B até virar pó, que foi transferido para um copo descartável. Foram adicionados 80 mL de água até dissolver. Iluminamos o líquido com a adaptação do celular e com a lanterna de luz negra.

## 3. Resultados

Durante a realização dos experimentos, os alunos não apresentaram dificuldades em seguir o roteiro proposto, interagindo constantemente com a professora que mediou a atividade. O primeiro experimento foi realizado com a água tônica. Ao incidir a luz da lanterna do celular, o líquido não apresentou a fluorescência esperada, refletindo somente a coloração violeta da luz (Fig. 3).



Figura 3 - Incidência da luz adaptada com a lanterna do celular na água tônica.



Figura 4 - Incidência de luz negra na água tônica.

Quando exposta à luz negra da lanterna, a fluorescência ocorreu, com a emissão de coloração azulada. Isso ocorreu porque a água tônica possui como componente a quinina, um alcaloide com propriedade fluorescente (Fig. 4).

No segundo experimento, a clorofila, pigmento natural nos vegetais que confere a cor verde, quando iluminada, emitiu radiação vermelha. Os resultados relativos à coloração puderam ser vistos com a incidência de luz dos dois dispositivos, porém a fluorescência foi mais intensa com a incidência de luz negra (Fig. 5).

No caso do marca-texto, ambos os dispositivos foram capazes de promover a fluorescência no texto grifado (Fig. 6).

No último experimento, a solução de vitamina B apresentou fluorescência esverdeada, sendo mais intensa com a luz negra. A fluorescência ocorre por conta da riboflavina, presente na vitamina B2 (Fig. 7).

Os alunos mostraram-se bastante entusiasmados e surpresos com os resultados apresentados, tirando fotos e



Figura 5 - Incidência de luz negra na solução de clorofila.



Figura 6 - Incidência da luz adaptada com a lanterna do celular na apostila grifada com marca-texto.



Figura 7 - Incidência de luz negra na solução de vitamina B.

comentando o que era observado. O grande questionamento da aplicação foi decorrente da não fluorescência de alguns compostos quando expostos à luz adaptada do celular, em comparação com a luz negra. Diversos experimentos e tutoriais na internet anunciavam tal adaptação da lanterna do

telefone móvel como sendo luz negra, como no site Manual do Mundo [5] ou Tecmundo [6], porém há uma diferença importante que pode ser verificada neste experimento e explicada a seguir.

A luz fluorescente normal, que utilizamos em nossas residências, é composta por um vapor de mercúrio e recoberta por um material à base de fósforo. Quando estimulado, esse fósforo emite fluorescência, transformando a radiação ultravioleta em luz visível. A luz negra consiste basicamente na mesma luz utilizada em casa, sendo a camada de fósforo substituída por uma tinta escura próxima do violeta. Essa luz emite coloração violeta intensa e também a radiação ultravioleta, pois não há a camada de fósforo. Sendo assim, ela emite radiação visível, luz violeta, e muita radiação não visível, a radiação ultravioleta.

A lanterna do celular é formada por uma luz de *led* que não emite radiação ultravioleta. Quando colocamos a coloração do pincel permanente, ela se assemelha à luz negra, mas não possui o mesmo efeito. Alguns materiais emitem a fluorescência com ambos os dispositivos, pois os elétrons dessas substâncias necessitam de uma quantidade de energia menor para realizar o salto entre níveis e consequentemente emitir luz, como é o caso do marca-texto. Outras substâncias, como a quinina, necessitam de uma quantidade de energia muito maior, possível somente com a incidência da radiação ultravioleta, para que gere

fluorescência.

#### 4. Conclusão

O ensino de determinados conteúdos de física na educação básica enfrenta diversos desafios, sendo necessário que o professor busque constantemente novas formas e metodologias para estimular os alunos. A preferência pelo uso de exemplos típicos da física clássica para explicar temas contemporâneos corrobora a manutenção da ideia de dissociação entre realidade e teoria. Nesse sentido, o uso de metodologias experimentais de baixo custo e fácil execução torna o ensino de física atômica interessante e coerente na visão dos estudantes.

O fenômeno da fluorescência, apesar de estar presente em diversas situações cotidianas, é um grande exemplo de como é possível despertar o interesse dos alunos pela ciência por meio de práticas investigativas elaboradas de forma simples e alinhadas com o entendimento e a realidade dos estudantes.

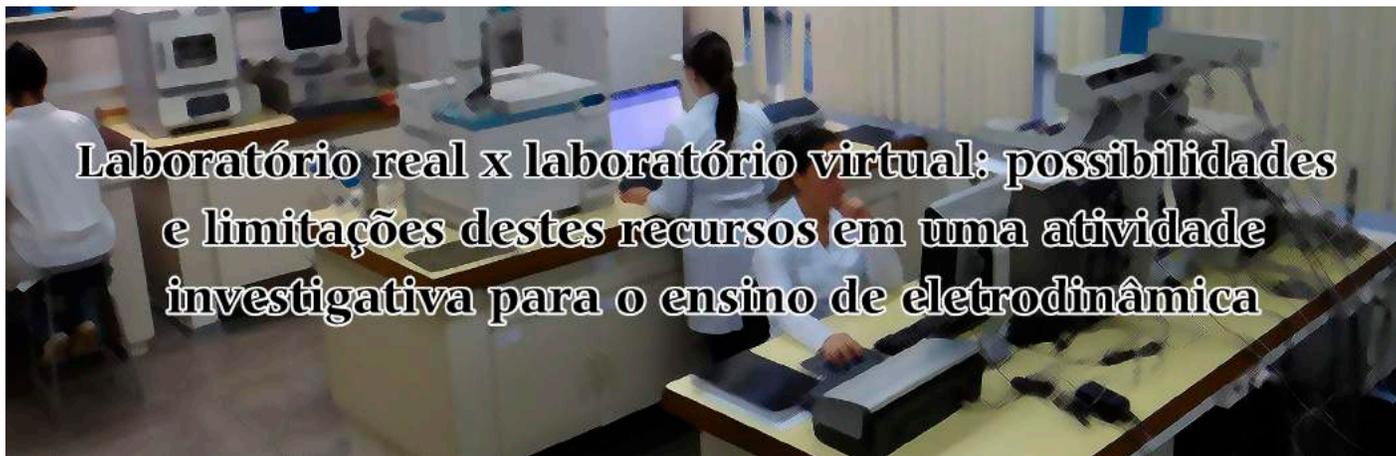
**O fenômeno da fluorescência, apesar de estar presente em diversas situações cotidianas, é um grande exemplo de como é possível despertar o interesse dos alunos pela ciência por meio de práticas investigativas elaboradas de forma simples e alinhadas com o entendimento e a realidade dos estudantes**

Nesta aplicação, esse interesse pôde ser percebido pelos diversos relatos dos alunos durante as experiências, associados à massiva participação dos estudantes de forma espontânea e a atenção dedicada pelos mesmos ao desenvolvimento

das atividades. Alguns alunos ainda procuraram a professora para questionar a possibilidade de repetir as experiências em casa, utilizando outros materiais, para verificar a existência ou não do fenômeno apresentado.

#### Referências

- [1] H. Fischler and M. Lichtfeldt, *International Journal of Science Education* **14**, 2 (1992).
- [2] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **5**, 1 (2000).
- [3] E.A. Terrazzan, *Perspectivas para a Inserção de Física Moderna na Escola Média*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1994.
- [4] A.L.P. Nery e C. Fernandez, *Química Nova na Escola* **19**, 39 (2004).
- [5] I. Thenório, *Manual do Mundo* (2005). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Ajt6PJzVNQ>, acesso em 3/4/2019.
- [6] E. Harada, *Tecmundo* (2016). Disponível em <https://www.tecmundo.com.br/area-42/102593-area-42-fazer-lanterna-luz-negra-celular-video.htm>, acesso em 3/4/2019.



# Laboratório real x laboratório virtual: possibilidades e limitações destes recursos em uma atividade investigativa para o ensino de eletrodinâmica

.....

**Natalia Ferreira Vidal\***

Divisão de Ensino, Escola Preparatória de Cadetes do Ar

**Paulo Henrique Dias Menezes**

Faculdade de Educação; Universidade Federal de Juiz de Fora

## RESUMO

*Neste trabalho, investigamos o papel das simulações como alternativa aos laboratórios convencionais no ensino de física, na tentativa de suprir a necessidade da experimentação nessa disciplina. Foram realizadas duas atividades – uma no laboratório virtual e outra no laboratório real. Dois roteiros semiestruturados foram propostos a alunos da 3ª série do Ensino Médio, para que fizessem observações sobre circuitos série e paralelo numa perspectiva investigativa, com o objetivo de perceber semelhanças e diferenças entre circuitos série e paralelo. Um roteiro foi desenvolvido no laboratório real e outro no laboratório virtual. As observações e conclusões dos alunos foram registradas em relatório que, juntamente com outras fontes, serviram de dados para a análise realizada. Nossos resultados sugerem uma reflexão sobre a maneira mais adequada do uso do laboratório escolar no ensino de física a partir da possibilidade de articular atividades práticas tradicionais com simulações virtuais.*

**Palavras-chave:** ensino de física; atividades experimentais; simulações virtuais

.....

## 1. Introdução

O computador, a internet e os aparelhos eletrônicos, como os *smartphones* e os *tablets*, são

tecnologias importantes desenvolvidas pelo homem no progresso das áreas de informação e de comunicação. A revolução causada por tais tecnologias foi tão grande que

em muito pouco tempo elas se tornaram indispensáveis ao nosso dia a dia – tanto que hoje já não é mais possível imaginar o mundo sem esses instrumentos. No campo da educação, cada vez mais se percebe o aumento do interesse pelo uso das tecnologias e de outros recursos de comunicação e de informação integrados ao aprendizado escolar.

Mais do que ferramentas, hoje compreendemos as tecnologias e os dispositivos móveis de comunicação e informação como instrumentos culturais de aprendizagem, e as novas gerações de estudantes, do Ensino Fundamental ao superior, compreendem bem essa revolução tecnológica e estabelecem estreita sintonia com as inúmeras mudanças que a era tecnológica imprime à sociedade.

Particularmente no ensino de física, Borges [1] defende que a maioria dos professores defende a ideia de que alguns dos problemas do ensino dessa disciplina passam pela ausência de aulas práticas na rotina da escola. Muitas vezes, essa ausência se justifica pela falta de um espaço físico ideal, ou pela falta de material ou equipamentos adequados que, além do custo elevado para adquiri-los, ainda demandam pessoal

técnico especializado ou capacitação dos professores.

Com o avanço tecnológico e o fácil acesso aos computadores e a outros recursos digitais, é possível pensar nas

**Mais do que ferramentas, hoje compreendemos as tecnologias e os dispositivos móveis de comunicação e informação como instrumentos culturais de aprendizagem**

simulações virtuais como um caminho para contornar o problema da falta de atividades práticas e experimentais nas aulas de física ou ciências da natureza, de forma geral. Elas

podem ajudar o professor a suprir a necessidade de realizar aulas práticas e a inserir o aluno num ambiente experimental investigativo, tirando-o da passividade das aulas expositivas tradicionais.

## 2. As simulações virtuais para o ensino

Simulações virtuais vão além de simples animações computacionais. Segundo Gadiss [2], elas englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual, e podem ser classificadas em categorias gerais, baseadas fundamentalmente no grau de interatividade entre o aprendiz e o computador. Essa interatividade baseia-se no fato de que o programa é capaz de apresentar não apenas uma animação isolada de um fenômeno em causa, mas uma série de animações alternativas selecionadas por meio da seleção de parâmetros pelo estudante. Dessa forma, por exemplo, para ilustrar a trajetória de um objeto lançado de forma oblíqua em relação ao solo, uma simulação permite ao estudante a escolha de parâmetros relevantes, tais como a velocidade inicial e o ângulo de disparo, para os quais o programa fornece as respectivas animações geradas a partir de grandes bancos de dados. Num segundo

\*Autor de correspondência: Natalia Ferreira Vidal, natalia.vidal@educacao.ufjf.br.

exemplo, podemos citar a forma como se dá o crescimento de uma população, referindo-se aos fatores de seleção natural. Nesse caso, a experiência original é impossível de ser reproduzida pelos estudantes, uma vez que um dos parâmetros abordados é o tempo, contado em gerações. Assim, as simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos cotidianos ou não.

Evidentemente, qualquer simulação está baseada em um modelo de uma situação real matematizada e processada pelo computador para fornecer animações de realidade virtual. Portanto, a construção de uma simulação virtual pressupõe, necessariamente, a existência de uma situação real que lhe dê suporte e que lhe confira significado. Exemplos de tais situações podem ser: uma descida na Lua, uma emergência em uma usina nuclear ou até mesmo um evento histórico ou astronômico. Snir [3] e Russel [4] defendem também que experimentos perigosos ou de realização dispendiosa, assim como os que envolvem fenômenos muito lentos ou extremamente rápidos, também compõem a classe de eventos a serem alvos prioritários de uma simulação virtual no ensino.

Para este trabalho, optou-se pelas simulações interativas, por acreditar que essas seriam mais adequadas para alcançar os objetivos pretendidos, permitindo que os estudantes explorassem os fenômenos discutidos e pudessem, a partir da interação, sistematizar os conceitos e suas relações, organizando assim o conhecimento e enxergando nas simulações o seu potencial de aprendizagem para o ensino de física.

### 2.1. Tecnologia Educacional em Física - PhET

Nos últimos anos o uso de simulações tem sido incentivado como uma alternativa aos laboratórios tradicionais. Uma ferramenta que ganhou notoriedade nesse campo foi o PhET<sup>1</sup>. Trata-se de um programa idealizado pelo físico Carl Wieman (Prêmio Nobel de Física em 2001) e desenvolvido pela Universidade do Colorado que disponibiliza simulações virtuais num portal on-line, que podem ser utilizadas no próprio sítio ou baixadas gratuitamente por alu-

nos, professores ou mesmo curiosos. Essas simulações abrangem várias áreas do campo das ciências, passando por física, química e biologia, mas também trazem algumas simulações sobre matemática e geografia. Segundo Miranda e cols. [5], as simulações do PhET são, em sua maioria, bastante interativas e podem ser usadas como efetiva ferramenta de aprendizagem, fortalecendo os programas e currículos de ensino, aliando-se aos esforços de professores comprometidos com o ensino. Essas simulações podem ser usadas em várias modalidades e níveis de ensino, como aulas expositivas, trabalhos em grupo ou até mesmo para explorar conceitos em estudos superiores.

Neste trabalho, utilizamos uma simulação específica do PhET: circuitos de corrente contínua e alternada<sup>2</sup>. Essa simulação permite montar vários circuitos em série e/ou paralelo com correntes contínuas, de acordo com a necessidade do professor, ou o espírito de investigação dos alunos, para estudo dos fenômenos relacionados à eletrodinâmica. O simulador traz em seu layout um espaço de tela cinza onde podemos fazer diversas montagens de circuitos de acordo com o estudo pretendido (Fig. 1). No layout identifica-se uma barra vertical lateral à direita com os elementos que podem ser inseridos no circuito, como lâmpadas, fios, baterias e interruptores, além de aparelhos de medição como voltímetro e amperímetro. Para montar um cir-

cuito, basta clicar sobre o elemento a ser utilizado, arrastá-lo até a área de trabalho e, em seguida, ajustar suas características, como, por exemplo, a resistência interna de uma lâmpada ou a tensão fornecida por uma pilha.

Simulações desse tipo podem ser combinadas com circuitos reais ou até mesmo em substituição a eles, caso não seja possível o trabalho em um laboratório convencional. Pelo fato de os recursos das simulações serem muito numerosos, com esse tipo de ferramenta é possível explorar diversos conceitos sobre os circuitos elétricos e envolver os alunos em uma metodologia de ensino diferente do simples uso do livro didático ou do quadro de aula.

### 3. Desenvolvimento das atividades

Foram elaborados dois roteiros de atividades com a intenção de investigar as características específicas dos circuitos série e paralelo no estudo da eletrodinâmica – um para utilização do laboratório convencional e outro para utilização de um simulador de laboratório virtual.

O primeiro roteiro foi elaborado para trabalhar com um circuito em série, no laboratório virtual, utilizando o simulador Phet. Esse roteiro foi adaptado de um roteiro experimental do caderno de experimentos que pertence ao laboratório da escola. Porém, no roteiro original os circuitos série e paralelo são trabalhados na mesma atividade e o objetivo é apenas constatar o comportamento da corrente elétrica em cada uma das ligações. Assim, foram feitas algumas modificações, como a estruturação do “passo a passo” de como mon-

**A construção de uma simulação virtual pressupõe, necessariamente, a existência de uma situação real que lhe dê suporte e que lhe confira significado**

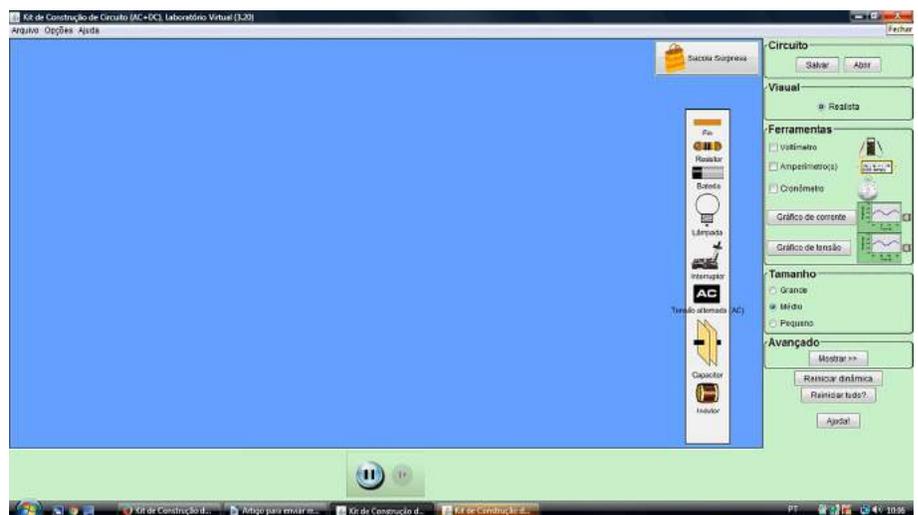


Figura 1 - Tela do simulador do PhET para circuitos de corrente contínua e alternada.

tar o circuito, as perguntas direcionadas para que os alunos refletissem sobre os circuitos e acrescentou-se também a proposta de desenvolver a 1ª lei de Ohm para entender a resistência equivalente em cada uma das ligações. Essas modificações foram necessárias para que a atividade se encaixasse no planejamento da aula e no desenvolvimento da disciplina, alinhando-se ao currículo da escola e ao plano de unidades didáticas que os professores devem seguir no ensino de física.

O segundo roteiro tratava de um circuito em paralelo, montado numa placa didática, disponível para o ensino no laboratório de física da escola. Esse roteiro também trazia perguntas para serem respondidas à luz das observações realizadas, porém não enfatizava a montagem do circuito, uma vez que a placa didática já havia sido montada previamente.

O experimento foi aplicado em três turmas da 3ª série do Ensino Médio da Escola Preparatória de Cadetes do Ar, em Barbacena - MG. Cada turma, com 26 alunos, foi dividida em grupos com quatro integrantes para a realização da atividade. A atividade foi realizada em duas aulas de 45 minutos cada, sendo realizado primeiro o experimento virtual, usando o simulador PhET, e posteriormente utilizada a placa didática para estudar o circuito em paralelo. Vale lembrar que, para a realização da atividade, os alunos já haviam estudado os conceitos sobre a 1ª Lei de Ohm e a relação existente entre corrente e resistência elétrica. Na realização da primeira parte do experimento (laboratório virtual), os alunos foram levados para o laboratório de física, que é equipado com computadores e bancadas para execução de experimentos reais. É interessante notar que, mesmo sendo o primeiro contato dos alunos com o simulador, as dificuldades foram mínimas na experiência virtual. Os alunos se mostraram muito à vontade e com uma grande segurança em mexer no simulador, sem medo de fazer alguma ligação errada.

Na aula seguinte foi feito o experimento na placa didática. Em cada bancada de trabalho havia uma placa já devidamente montada e ligada na rede elétrica do laboratório – que possui

127 V de tensão de entrada –, com três lâmpadas de potências diferentes, sendo seus valores nominais descritos no início da segunda parte do roteiro (Fig. 2).

#### 4. Análises das atividades

As primeiras observações relevantes aconteceram nos primeiros minutos de atividade, quando foi percebido o quão à vontade os alunos se sentiam frente a um computador. Na apresentação da simulação do PhET que seria utilizada como ferramenta de ensino, os alunos esboçaram expressões bem normais em seus rostos, sem aquela reação de surpresa comum quando nos depa-

ramos com algo novo. No primeiro dia de trabalho, a professora foi muito pouco solicitada pelos alunos. Eles realizaram toda a atividade sem grande dificuldade, terminaram todas as tarefas em menos de 45 minutos e as únicas dúvidas que surgiram foram relativas apenas à relação matemática para o cálculo da resistência

equivalente, conforme solicitava o roteiro.

Na aula seguinte, usando a placa didática, a situação mudou bastante. Per-

ceberam-se muitos olhares curiosos logo que os alunos adentraram o laboratório. Além disso, na primeira atividade todos os alunos esperaram as orientações e a ordem para começar a atividade. Porém, na segunda atividade, antes mesmo de terminar a explicação da dinâmica de trabalho já se percebiam alguns alunos manuseando o multímetro e a placa para tentar aprender sozinhos como eles funcionavam.

Tão logo foi dada a ordem para começar o trabalho, a professora foi chamada às bancadas para confirmar se o procedimento dos alunos estava correto. As solicitações foram tantas que quase não foi possível atender a todos os alunos no tempo de aula previsto. Foi possível observar também na atividade real que os alunos interagiram mais entre si, sempre questionando uns aos outros como realizar cada parte do roteiro, confirmando ou refutando as previsões que eles próprios realizaram e levantando hipóteses sobre as possíveis ligações que poderiam ser feitas na placa. Diferentemente da primeira aula, os 45 minutos programados para a atividade foram usados em sua totalidade e, quando foi dado o sinal para acabar a aula, alguns alunos ainda quiseram permanecer no laboratório para mexer um pouco mais naquele circuito e fazer novas ligações com outras lâmpadas e equipamentos. Houve também dois alunos que manifestaram a vontade de realizar o experimento virtual da primei-

**No laboratório real, percebeu-se que os alunos se sentiram muito mais curiosos e, ao mesmo tempo, inseguros frente a uma realidade que não era comum ao dia a dia deles. Por outro lado, o computador, por ser objeto de estudo e lazer por várias horas do dia, já não traz mais a sensação de novidade e não estimula tanto o interesse e a curiosidade dos alunos**



Figura 2 - Placa de circuito utilizada na atividade do laboratório real.

ra aula na placa didática, para confirmar se “iria acontecer a mesma coisa” que foi observada na simulação virtual.

Assim, no laboratório real, percebeu-se que os alunos se sentiram muito mais curiosos e, ao mesmo tempo, inseguros frente a uma realidade que não era comum ao dia a dia deles. Por outro lado, o computador, por ser objeto de estudo e lazer por várias horas do dia, já não traz mais a sensação de novidade e não estimula tanto o interesse e a curiosidade dos alunos. Percebemos com este trabalho que a experiência real instigou mais a curiosidade dos alunos, por trazer objetos que não faziam parte de seus quotidianos.

#### **4.1. Laboratório virtual x laboratório real**

As atividades realizadas em laboratórios reais e virtuais, ainda que tratem do mesmo tema, podem provocar comportamentos distintos nos alunos, dependendo da forma como são trabalhadas. O experimento virtual, mais especificamente o simulador do PhET, tem um caráter lúdico e interativo bastante simples e agradável àquele que o opera. Porém, o crescimento exponencial de ferramentas de tecnologia e informação e o fácil acesso a essas tecnologias, com softwares e aplicativos dotados de grande interatividade, coloridos e dos mais diversos ramos de utilidade, colocam o jovem em uma situação bastante confortável frente ao computador ou outra ferramenta dessa natureza. Com isso, a sensação de novidade já não tem sido tão comum no uso de ferramentas de caráter virtual. Por outro lado, o uso das simulações propicia ao aluno uma visão geral do experimento e uma segurança maior na execução das tarefas, visto que a atividade realizada no computador é praticamente isenta de acidentes e imprevistos que causem dano ou prejuízo ao equipamento ou ao aluno. Sobre esse aspecto, Miranda e cols. [5, p. 29] apontam ainda que “as simulações virtuais encorajam os alunos a explorar o comportamento da simulação, questionar suas ideias e desenvolver outros modelos correspondentes sobre determinado assunto”.

Quanto aos laboratórios reais de ensino de ciências, Borges [1] aponta que o ensino prático de ciências tem alto prestígio entre os professores em geral. Muitas vezes esse prestígio deve-se, erroneamente, à crença de que o simples fato de mobilizar a atividade do aprendiz frente a sua passividade já é

suficiente para provocar o interesse pelo conhecimento.

Nas atividades desenvolvidas, observou-se que a oportunidade de manusear a placa didática, com fiações, lâmpadas e outros itens reais, aguçou nos alunos uma curiosidade em saber como aquelas coisas funcionam. Isso causou-lhes uma ansiedade tão grande que mal conseguiram esperar as explicações e orientações para começarem a realização do experimento. Assim, considera-se que a atividade prática realizada com equipamentos de laboratório, hoje em dia, é capaz de despertar mais o interesse dos alunos, pelo simples fato de colocá-lo num ambiente diferente daquele vivenciado no dia a dia, fora da sua zona de conforto. Entende-se que esse interesse é capaz de provocar no aluno sentimentos diferentes direcionados para o campo das ideias, da curiosidade e da busca por respostas para suas investigações.

Por outro lado, o fato de manusear equipamentos reais provocou nos alunos certa insegurança que não foi percebida na atividade virtual. Isso porque, por mais que as simulações busquem uma demonstração mais próxima à realidade, temos um sentimento intrínseco que nos diz se tratar apenas de um software. Assim, temos a confiança de que aquele objeto é virtual e que não sairá desse campo. Logo, o sentimento de segurança e proteção é grande, o que nos permite ousar sem medo de sofrer algum dano ou prejuízo.

Os experimentos reais, por sua vez, apresentam uma perspectiva diferente, já que, por se tratarem de situações concretas, o resultado de alguma operação indevida pode ter consequências que extrapolam o controle do experimentador. Por isso, o fato de aqueles alunos estarem lidando pela primeira vez com aqueles materiais trouxe um sentimento de insegurança pertinente àquela situação. A cada passo do roteiro eles refletiam muito mais sobre suas ações e sempre recorriam à professora para se certificarem se o procedimento estava correto.

Existe também um fator importante a ser considerado no que tange ao acesso às tecnologias digitais, pois, por mais que elas tenham se expandido consideravelmente nos últimos tempos,

ainda é comum encontrar comunidades que não têm acesso a computadores, escolas sem laboratório de informática ou alunos que não têm nenhum acesso a essas ferramentas de informação e comunicação. Nesse sentido, o uso de simulações virtuais, ainda que venha preencher algumas lacunas estruturais para ensino, como por exemplo a falta de um laboratório, a contextualização do ensino ou a interconexão de dois ou mais conceitos estudados está longe de ser a solução redentora para os problemas emergentes da falta de experimentação no ensino de ciências.

Por fim, uma das potencialidades da utilização de simulações no ensino passa pelas possibilidades de se observar na tela algo que seria impossível de ver a olho nu ou analisar calmamente um fenômeno que em tempo real acontece com velocidade próxima à velocidade da luz. Nesse sentido, nossos resultados apontaram que simulações virtuais, quando utilizadas como recurso didático, podem facilitar a aprendizagem de conceitos abstratos, uma vez que os alunos observam a situação proposta pelo professor de forma mais comple-

ta, pois conseguem visualizar e compreender o conceito descrito num aspecto mais claro e mais dinâmico. Já os laboratórios didáticos reais permitem discutir e analisar essas condições de contorno, que envolvem riscos, possibilidades de erros e podem interferir diretamente nos resultados de uma experiência. Além disso, verificamos que, em um mundo dominado pelas tecnologias de informação e comunicação, os laboratórios didáticos trazem o aluno para um ambiente diferente do seu cotidiano. Realizar experiências num laboratório real motiva o aluno a aprender pelo lúdico, pela manipulação e pela própria experiência ao “ver o fenômeno acontecer”. Outra vantagem é que nem sempre os resultados das experiências correspondem às expectativas do experimentador. Isso permite o desenvolvimento de uma visão mais crítica da ciência. Por outro lado, uma ligação ou medição errada pode causar insegurança no aluno, gerando inibição e produzindo um efeito contrário daquele previsto inicialmente. Essa insegurança pode ser controlada se o aluno puder testar antes na si-

**Os laboratórios virtual e real apresentaram possibilidades de utilização distintas e ao mesmo tempo complementares. Por isso, entendemos que a integração dos dois seria a melhor saída para a realização de atividades investigativas**

mulação.

## 5. Considerações finais

Desenvolvemos este trabalho com o objetivo de verificar o papel das simulações como alternativa aos laboratórios convencionais no ensino de física, na tentativa de suprir a necessidade da experimentação nessa disciplina.

As atividades desenvolvidas durante o trabalho nos conduziram para uma direção diferente das expectativas iniciais. Esperava-se que os laboratórios virtuais causassem nos alunos os mesmos efeitos do laboratório real, ou seja, que a atividade realizada por meio de uma simulação proporcionasse ao aluno uma aprendizagem semelhante àquela que obteriam por intermédio de uma experimentação com objetos reais. No entanto, os resultados obtidos a partir da análise das atividades desenvolvidas apontaram para um uso diferente desse tipo de objeto de aprendizagem. Os laboratórios virtual e real apresentaram possibilidades de utilização distintas e ao mesmo tempo complemen-

tares. Por isso, entendemos que a integração dos dois seria a melhor saída para a realização de atividades investigativas.

Os resultados deste estudo sinalizam que uma atividade investigativa pode ser mais efetiva se prover uma metodologia que integre os processos de experimentação em laboratórios didáticos reais com as simulações virtuais. Entendemos que essa associação pode trazer resultados mais interessantes do que se forem realizadas separadamente. Com as simulações virtuais, os alunos podem fazer previsões, investigar as possíveis ocorrências e depois confirmá-las ou refutá-las numa experimentação real. Além disso, as simulações integradas com a experiência real têm a possibilidade de levar o aluno a pensar novas situações e, com base nisso, formular outras hipóteses para construir um conceito ou conhecimento acerca dos mais variados assuntos da física.

Na atividade desenvolvida escolhemos trabalhar com os circuitos série e

paralelo porque esse assunto é um ramo da eletrodinâmica que traz muitas dúvidas aos alunos quando estudados pela primeira vez. Assim, a opção de promover o ensino dessa matéria por meio de atividades experimentais, além de contribuir como objeto da nossa pesquisa, ajudou os alunos a entender melhor os circuitos elétricos, que até então eram trabalhados na escola apenas de forma teórica. É inegável que ligações em série e paralelas são bastante diferentes entre si e a atividade como foi estruturada deixa lacunas no que tange à comparação das aprendizagens de cada um dos circuitos, pois, para realizar uma comparação entre dois tipos diferentes de ambientes de aprendizagem, seria ideal que ambos tratassem do mesmo assunto. No entanto, entendemos que o caráter comparativo relativo a possíveis alternativas metodológicas para experimentação no ensino de física foi atendido com o trabalho realizado.

## Referências

- A. Tarciso Borges, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 291 (2002).
- B. Gaddis, *Learning in a Virtual Lab: Distance Education and Computer Simulation*. Ph.D. Thesis, University of Colorado, 2000.
- M. Snir, *MPI - The Complete Reference: The MPI Core* (MIT Press, London, 1998).
- G. Russel, *Computer Mediated School Education and the Web*. (Scopus, North Carolina, 2011), v. 1, p. 324.
- M.S. Miranda, A.R. Arantes, N. Studart, *Física na Escola* **11**, 1 (2010).

## Notas

<sup>1</sup>Sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física.

<sup>2</sup>Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab).



.....

**Pedro H. Evers**

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

**Bruna D. Magalhães**

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

**Andres R. Sousa**

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

**Diego A. Duarte\***

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, SC, Brasil

## RESUMO

*Super Mario World é um dos jogos eletrônicos mais populares do mundo e agrada a todos os públicos. Este artigo sugere a utilização do jogo para motivar estudantes da educação básica e superior no estudo das leis fundamentais da física. O método consiste na análise de vídeos por meio do programa Tracker e na descrição dos dados por meio das regras da mecânica newtoniana. Os resultados indicam que o personagem está inserido em um mundo complexo, pois o movimento horizontal pode ser descrito por regras diferentes das do movimento vertical, além do surgimento de arrasto negativo, aceleração gravitacional maior que a do planeta Júpiter, saltos verticais e velocidades maiores que as dos atuais recordes de atletismo e aceleração horizontal próxima do limite humano para perda de consciência.*

**Palavras-chave:** jogos eletrônicos; física; Super Mario; Usain Bolt

.....

## 1. Introdução

**M**otivar estudantes em sala de aula é um desafio no ensino, principalmente no trabalho com a nova geração, que está diariamente conectada em celulares, *tablets* e computadores para entretenimento, trabalho e realização de atividades escolares. Com o mundo real desses jovens conectado cada vez mais com o mundo virtual, é fundamental que os métodos de ensino passem por uma reformulação e sejam adaptados para o estilo de vida da geração atual e se tornem ambientes motivacionais [1, 2]. Conforme diversos estudos [3-11], os jogos eletrônicos podem ser utilizados como ferramentas poderosas para o ensino de física, pois além de considerarem as leis da natureza por meio das chamadas *physics engines* [11], em especial a mecânica newtoniana [6, 12], representam uma das formas mais divertidas de entretenimento virtual, sendo um meio eficaz para melhorar a comunicação entre professores e estudantes, que geralmente habitam mundos diferentes. Além disso, estudos mostram que os jogos eletrônicos também contribuem para o desenvolvimento de diversas habilidades motoras e cognitivas como tempo de reação, memória, habilidades espaciais, visão e atenção [13]. Assim, este artigo apresenta um método simples para ensinar conteúdos de cinemática e dinâmica para o ensino básico e superior com o jogo Super Mario World, por meio da análise de vídeos. Os dados obtidos foram comparados com medidas do mundo real para avaliar as possíveis habilidades sobrenaturais do personagem Mario e

**É fundamental que os métodos de ensino passem por uma reformulação e sejam adaptados para o estilo de vida da geração atual e se tornem ambientes motivacionais**

as leis naturais que regem o universo do jogo.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. O jogo Super Mario World

O jogo escolhido é um dos clássicos da empresa japonesa Nintendo e foi lançado comercialmente na década de 1990 para o console Super Nintendo [14]. O jogo conta a história dos irmãos Mario e Luigi, que procuram pela Princesa Peach que foi raptada pelo vilão Bowser no Mundo dos Cogumelos. Toda a dinâmica ocorre em 2D e a história remete os personagens a diversos desafios em terra, água e ar, podendo ser utilizado para o estudo de diversos temas, como MRU, MRUV, lançamento de projéteis, forças elásticas (devido às molas que o personagem utiliza em diversas fases), pêndulos, força de arrasto e colisões, entre outros. Este artigo investiga o personagem Mario no movimento horizontal, durante caminhada e corrida, e no movimento vertical, durante um salto comum.

Em todas as situações o personagem é tratado em seu tamanho reduzido, *i.e.*, sem a ingestão de cogumelos multiplicadores de tamanho e força. Nessa circunstância, foi adotada a altura de 1,55 m para o personagem [15].

### 2.2. Gravação dos vídeos

Para obtenção dos vídeos foi utilizado o programa Fraps [16]. O vídeo gerado para análise do movimento horizontal, com duração de 4 s, possui 224 frames e o vídeo gerado para análise do movimento vertical, com duração de 30 s, possui 1796 frames. No entanto, o primeiro filme foi analisado entre os

\*Autor de correspondência. E-mail: diego.duarte@ufsc.br.

frames 25 e 149 (duração de 2,1 s) e o segundo entre os frames 27 e 87 (duração de 1 s).

### 2.3. Análise dos vídeos

Os vídeos foram analisados com o programa Tracker [2, 17-19]. O programa possui uma interface simples e permite ao usuário realizar, por exemplo, marcações das posições horizontais e verticais do personagem. A partir desses dados, o programa fornece uma tabela que permite obter os gráficos das posições em função do tempo e, por consequência, informações sobre velocidade e aceleração. Para o salto vertical, foram medidos 54 pontos da posição em função do tempo com o referencial no solo. Os valores foram medidos a partir do acompanhamento de um pixel no topo da cabeça do personagem. A Fig. 1 apresenta uma tela do programa obtida durante as medições. Os dados indicam um típico MRUV.

No movimento horizontal, o personagem possui três estágios de velocidade: caminhada, corrida em nível moderado e corrida em nível máximo. Para coletar dados de todos esses movimentos, é necessário que ele percorra

uma distância razoável, fazendo com que o observador (câmera) entre em movimento com a mesma rapidez do Mario. Ao adicionar um referencial para medir o deslocamento, o Tracker o fixa em relação ao observador, que, ao se movimentar, leva consigo o referencial. Isso faz com que Mario e o referencial se desloquem juntos, impossibilitando a medição. Para contornar esse problema, foram adotados dois pixels de referência, conforme ilustrado na Fig. 2. Um pixel faz parte do olho do Mario e o outro faz parte de uma vegetação que está fixa no plano de fundo do mundo onde está o personagem. Com uma fita métrica, foi realizada a medida da posição. Foram medidos 55 pontos da posição em função do tempo. O Tracker permite uma ampliação de até 1200% da imagem, permitindo certa precisão na medição com a fita métrica (Fig. 2 do lado esquerdo).

### 3. Resultados e discussões

Os dados da posição vertical em função do tempo são apresentados na Fig. 3. A aproximação dos valores experimentais foi realizada com a

equação horária da posição do MRUV:

$$y(t) = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g_{local} t^2$$

em que  $y_0 = 1,6$  m,  $v_0 = 23,5$  m/s (84,6 km/h) e  $g_{local} = -53,4$  m/s<sup>2</sup>. Esses valores foram encontrados com a técnica dos quadrados mínimos. Como as medidas foram realizadas em relação ao solo e iniciaram no topo da cabeça do personagem, o valor de  $y_0$  é aproximadamente sua altura. A aceleração gravitacional local indica que o Mundo dos Cogumelos possui aceleração gravitacional duas vezes maior que a do planeta Júpiter ( $g_{local} = -22,9$  m/s<sup>2</sup> [20]), o maior planeta do sistema solar. A velocidade inicial também é um dado curioso, pois é demasiadamente elevada para um salto comum, permitindo que ele salte a uma altura máxima de 6,77 m em seu mundo. Assumindo que esse valor é decorrente da energia interna do Mario, ele poderia saltar com a mesma velocidade inicial no planeta Terra. Caso houvesse essa possibilidade, a altura máxima atingida pode ser determinada pela equação de

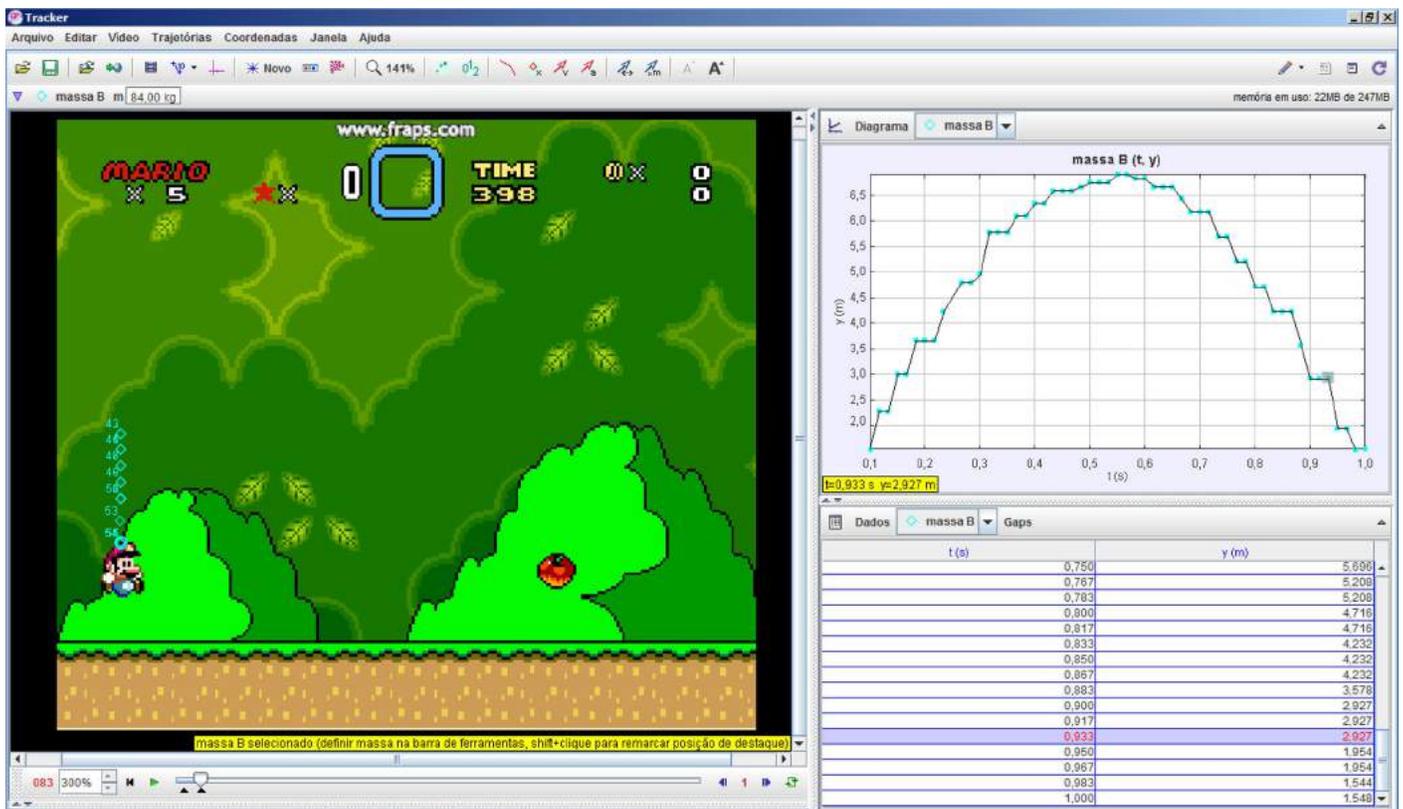


Figura 1 - Medição da altura do personagem durante um salto comum. O bastão de calibração foi definido com a altura do personagem.



Figura 2 - Definição dos pixels de referência no programa Tracker (imagem da esquerda) para medição da posição horizontal instantânea com a fita métrica (imagem da direita). O bastão de calibração foi definido com a altura do personagem.

Torricelli:

$$0^2 = (23,5)^2 - 2(9,81)\Delta y \cdot \Delta y = 28,1 \text{ m},$$

que representa aproximadamente um prédio de 8 ou 9 andares, considerando que cada andar possui pouco mais de 3 m de altura. Esse resultado demonstra que o personagem possui uma estrutura corporal mais avançada que a de um homem comum.

Essa atividade é demasiadamente simples, pois é um conteúdo ministrado no final do ensino fundamental ou início do ensino médio, e pode ser realizada em sala de aula de forma demonstrativa pelo professor, em colaboração com os alunos, ou em um laboratório de informática, quando a escola possui esse ambiente. Caso não exista laboratório na instituição, o professor poderá realizar a coleta dos pontos experimentais (posição vertical e o tempo decorrido durante um salto vertical) junto com os alunos em um único computador. Após os dados serem anotados, a turma deverá construir, em um papel milimetrado, o gráfico da posição vertical em função do tempo e determinar a aceleração gravitacional, a velocidade inicial e a altura máxima do salto com as equações do movimento. Com essas informações em mãos, é possível construir a função horária da posição  $y(t)$  não otimizada que, em seguida, deve ser traçada sobre o papel milimetrado e comparada com os dados experimentais. Nesse momento, o professor deve iniciar uma discussão em sala sobre os erros associados e a validação dos dados experimentais perante o modelo semi empírico. Com o programa

Tracker, a função  $y(t)$  é otimizada para fornecer a melhor aproximação possível dos pontos coletados, como mostra a Fig. 3.

Os dados obtidos para o movimento horizontal são apresentados na Fig. 4. Para melhorar a compreensão, os dados foram separados em regiões 1 e 2. Na região 1, o personagem parte do repouso, caminha um pouco antes do primeiro quarto de segundo (representado pela curvatura positiva) e, em seguida, entra em velocidade terminal na corrida moderada, pois, nesse momento, a posição varia linearmente com o tempo. Na região 2, ocorre a transição súbita da velocidade moderada para a velocidade máxima, com o personagem assumindo uma postura corporal no melhor estilo corrida Naruto (com os braços abertos para trás). O instante dessa mudança está represen-

tado pela linha tracejada. Há uma leve diferença entre as inclinações da região 2 e o final da região 1, indicando que Mario ainda possui um “gás extra” no final da região 1.

O fato de o personagem atingir uma velocidade terminal na região 1 pode ser um indicativo de que ele está sob atuação de forças de arrasto. Se isso acontece, considere que Mario possui massa  $m$  e aplica uma força  $F_0$  contra o solo, fazendo-o acelerar. No sentido oposto, há o trabalho negativo realizado pelas forças de arrasto. Pela segunda lei de Newton,

$$m \frac{dv}{dt} = F_0 - \gamma v - \sigma v^2 \quad (1)$$

em que  $\gamma$  e  $\sigma$  representam as contribuições laminar e viscosa das forças de arrasto [21], a solução da Eq. (1) é dada

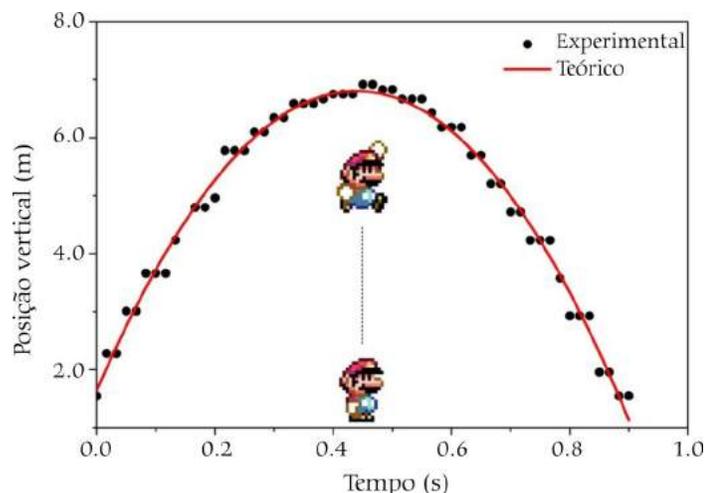


Figura 3 - Posição vertical em função do tempo para um salto vertical do Mario.

por

$$v(t) = \frac{A(v_0 + B) + B(v_0 - A)e^{-kt}}{v_0 + B + (A - v_0)e^{-kt}} \quad (2)$$

em que  $v_0$  é a velocidade inicial ( $= 0$ ),  $\sigma = km/(A+B)$ ,  $F_0 = kmAB/(A+B)$  e  $\gamma = km(B-A)/(A+B)$ . Para simular os dados da região 1, é necessário integrar a Eq. (2):

$$x(t) = x_0 + At + \frac{(A+B)}{k} \ln \left[ \frac{v_0 + B + (A - v_0)e^{-kt}}{A+B} \right] \quad (3)$$

com  $x_0$  na posição inicial ( $= 0$ ). As Eqs. (2) e (3) são similares aos resultados apresentados em trabalhos passados [22]. Ao aplicar a técnica dos quadrados mínimos na Eq. (2), foram obtidos  $A = 11,54 \text{ m/s}$ ,  $B = 8,17 \text{ m/s}$  e  $k = 7,98 \text{ s}^{-1}$ . A Eq. (2) com esses valores é apresentada na região 1 da Fig. 4 (curva vermelha). O valor da constante  $A$  representa a velocidade terminal, pois  $v(t) \rightarrow A$  para  $t \rightarrow \infty$  na Eq. (2); portanto, o Mario atinge a velocidade terminal de  $11,54 \text{ m/s} = 41,54 \text{ km/h}$  na corrida moderada. Em aproximadamente  $1,3 \text{ s}$  após o início do movimento, há a mudança discreta para a velocidade máxima (região 2) e ela permanece constante enquanto o personagem permanece correndo. Essa região pode ser simulada pela equação horária da velocidade no MRU:

$$x = x_0 + v_{\text{máx}}t \quad (4)$$

em que  $x_0 = 12,84 \text{ m}$  e  $v_{\text{máx}} = 14,31 \text{ m/s} = 51,52 \text{ km/h}$ . A curva (em azul) é apresentada na região 2 da Fig. 4. A velocidade experimental foi determinada a partir da derivação dos dados da posição ( $v = dx/dt$ ) e os resultados, comparados com a Eq. (2) e a velocidade máxima, são apresentados na Fig. 5. Os dados experimentais possuem um ruído considerável devido ao processo de derivação [23].

Para investigar a realidade dessas velocidades, comparamos os valores com a velocidade obtida pelo velocista Usain Bolt no Campeonato Mundial de Atletismo de Berlim em 2009 [24]. A física que descreve o movimento do atleta também é dada pela Eq. (1) [22]. Com a aplicação da técnica dos quadrados mínimos nessa equação, em conjunto com os dados de velocidade da Ref. [24], foram obtidos  $A = 12,30 \text{ m/s}$ ,  $B = 147,17 \text{ m/s}$  e  $k = 0,73 \text{ s}^{-1}$ ; portanto, com uma velocidade terminal de  $12,30 \text{ m/s} = 44,28 \text{ km/h}$ . Esse valor está entre as velocidades moderada e máxima do Mario. Os dados experimentais e

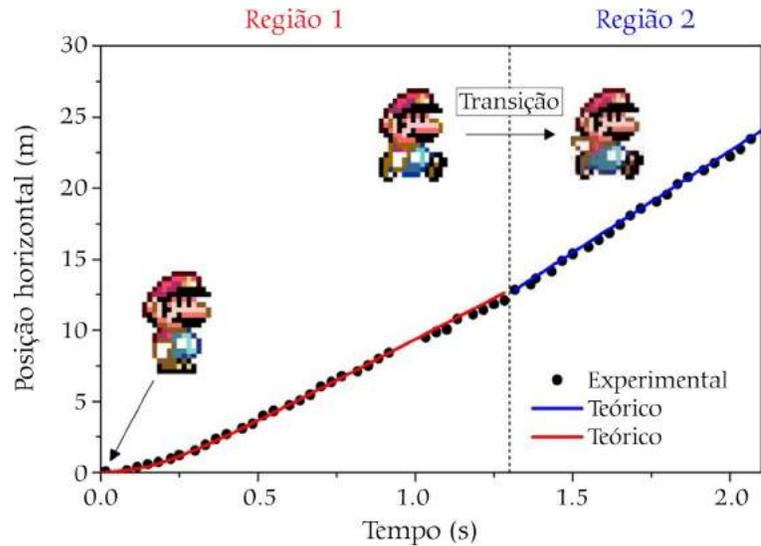


Figura 4 - Posição vertical em função do tempo para o movimento horizontal do Mario.

teóricos para o Usain Bolt são apresentados na Fig. 6. As curvas teóricas foram modeladas com as Eqs. (2) e (3). Os dados experimentais da posição em função do tempo foram calculados a partir da integração dos dados experimentais da velocidade [20]. Assumindo  $x_0 = 0$  e os valores calculados para  $A$ ,  $B$  e  $k$  na Eq. (2), o atleta atinge  $100 \text{ m}$  em  $9,58 \text{ s}$ , em concordância com os dados experimentais.

Com os dados da velocidade, é possível determinar a aceleração do personagem por meio de outra derivação, porém apenas a aceleração teórica será apresentada, uma vez que a segunda derivada da posição do Mario aumentará ainda mais o ruído do sinal experimental. Ao derivar a Eq. (2),

obtemos:

$$a(t) = \frac{k(A+B)(A-v_0)(B+v_0)e^{-kt}}{[v_0 + B + (A-v_0)e^{-kt}]^2} \quad (5)$$

com  $a \rightarrow 0$  para  $t \rightarrow \infty$  apresentado na Fig. 7 para Mario e Usain Bolt, no intervalo de  $10 \text{ s}$ . Os resultados indicam que a aceleração máxima do Mario está próxima de  $40 \text{ m/s}^2$  e representa, aproximadamente, quatro vezes mais que a aceleração máxima de Bolt. Além desses valores, Mario também possui aceleração na região de transição. Ele muda de  $11,54 \text{ m/s}$  para  $14,31 \text{ m/s}$  em um intervalo de  $0,033 \text{ s}$  (do instante  $1,283 \text{ s}$  para  $1,316 \text{ s}$ ), o que resulta numa aceleração média de  $84 \text{ m/s}^2$ , valor muito maior que o limite de um humano normal para perda de

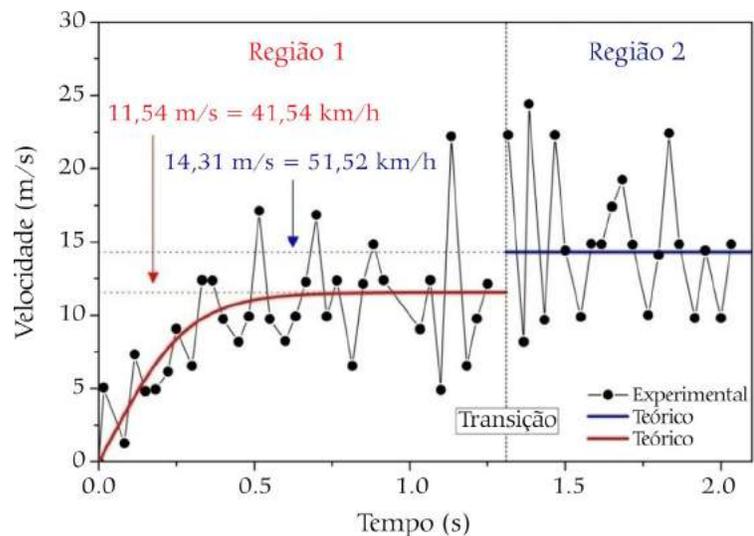


Figura 5 - Velocidade em função do tempo para o movimento horizontal do Mario.

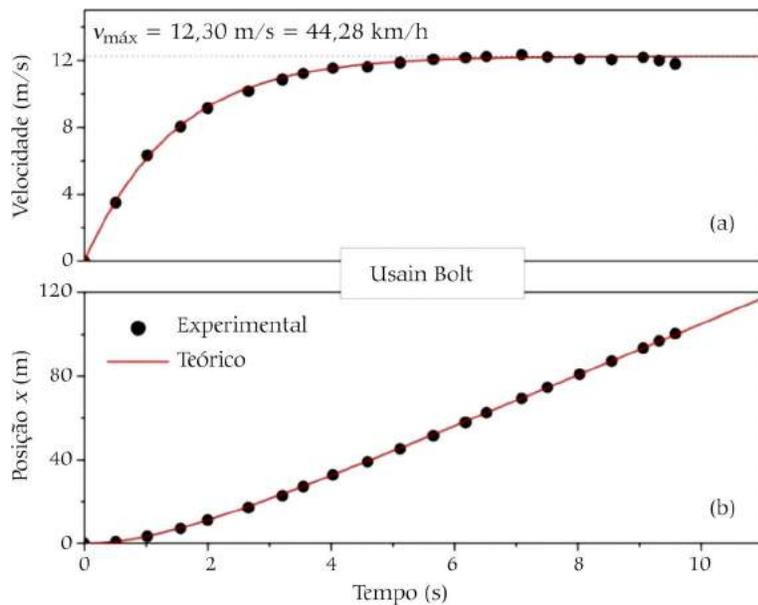


Figura 6 - (a) Velocidade e (b) posição em função do tempo para o velocista Usain Bolt.

consciência (que é de  $\sim 6 \text{ g}$ ) [25]. Porém, essa transição é tão rápida que talvez o personagem não sinta os efeitos. É mais provável que isso ocorra no início do movimento, embora as acelerações sejam menores.

A determinação das constantes  $A$ ,  $B$  e  $k$  permitem calcular as forças médias  $F_0$  e os coeficientes de arrasto  $\sigma$  e  $\gamma$ . Considerando que Mario e Bolt possuem 89 [15] e 86 kg [22], respectivamente, obtemos  $F_{0(\text{Mario})} = 3397,3 \text{ N}$  e  $F_{0(\text{Bolt})} = 712,6 \text{ N}$ . Os coeficientes de arrasto turbulento são  $\sigma_{\text{Mario}} = 36,0 \text{ kg/m}$  e  $\sigma_{\text{Bolt}} = 0,394 \text{ kg/m}$ , indicando que o personagem está em um meio denso e complexo, ainda mais porque seu coeficiente de arrasto laminar é negativo ( $\gamma_{\text{Mario}} = -121,4 \text{ kg/s}$  e  $\gamma_{\text{Bolt}} = 53,1 \text{ kg/s}$ ). Isso significa que o arrasto em baixas velocidades ajuda a acelerar o personagem com algo, aparentemente empurrando-o ou puxando-o para a frente, gerando um coeficiente de arrasto negativo [26, 27]. Essa estranha e contraditória propriedade, aliada com a maior força  $F_0$ , explicaria o fato de Mario atingir mais de 40 km/h em menos de 1 s após sair do repouso! Em seguida, devido ao elevado arrasto turbulento, ele rapidamente entra na velocidade terminal da corrida moderada (41,54 km/h). Com esses resultados, parece que Mario está em um “mundo excêntrico” onde as leis naturais parecem não respeitar, em sua totalidade, a mecânica newtoniana, o que até faz sentido, considerando toda a fantasia envolvida no enredo do jogo.

Os valores obtidos de  $F_0$ ,  $\gamma$  e  $\sigma$  para o Usain Bolt estão em concordância com os obtidos na Ref. [22].

Se os dois corredores disputassem os 100 metros rasos em seus respectivos mundos, Bolt terminaria a corrida em 9,58 s enquanto (Super) Mario terminaria em 7,41 s, conforme ilustra a Fig. 8, com ritmos médios de 1min36s/km e 1min14s/km, respectivamente. Em uma maratona, Mario manteria esse ritmo apenas no primeiro quilômetro, devido ao período de aceleração. Do segundo quilômetro em diante, manteria o ritmo de 1min10s/km, podendo completar a tradicional maratona de Berlim, por exemplo, em 49 minutos. Esse tempo é muito menor que o do atual recordista

Eliud Kipchoge, que concluiu a prova em 2h01min39s, com o ritmo médio de 2min53s/km. Durante essas análises, todas as informações quantitativas foram obtidas em função da régua de calibração do programa Tracker e qualquer alteração na altura do personagem mudará todas as informações aqui apresentadas.

O movimento horizontal da Fig. 4 possui análises mais complexas, como na região 1, e mais simples, como na região 2. A região 2, além de obedecer um MRU e possibilitar a aplicação, também, para alunos do ensino fundamental e médio, permite mostrar que Super Mario é mais veloz que os corredores Usain Bolt e Eliud Kipchoge. Esse contexto é muito importante para o professor aplicar em sala de aula, pois se torna uma ferramenta poderosa para conseguir a atenção dos alunos durante o processo de ensino-aprendizagem e, de certa forma, aliar o estudo proposto com a prática de atividades físicas. A região 1 aborda temas mais elaborados, como forças de arrasto, cálculo diferencial, integral e numérico. Esses conteúdos, de fato, não fazem parte da matriz curricular do ensino básico, sendo um tópico mais adequado para discussão no ensino superior. Por outro lado, é importante que o trabalho não atenda apenas o público regular do ensino básico, mas também um público com habilidades além da regular para o estudo de temas complexos, ampliando, portanto, o espectro de usuários do método proposto. Este último caso inclui alunos de graduação, obviamente, mas também uma minoria de alunos tecnicamente mais desenvolvidos do Ensino Médio. Além disso, alguns

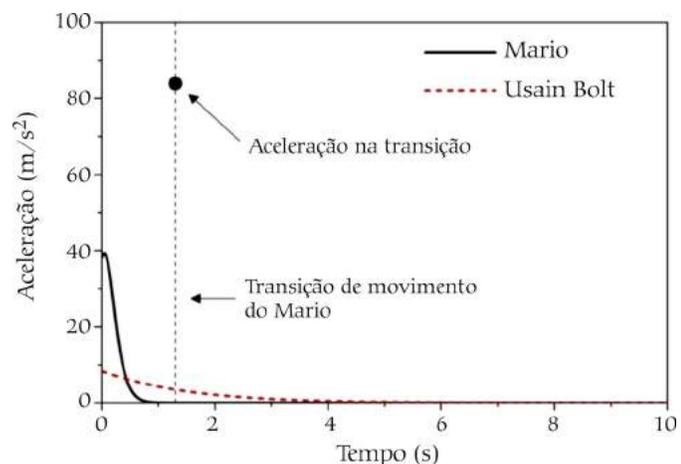


Figura 7 - Aceleração em função do tempo durante o movimento horizontal de Mario e Usain Bolt.

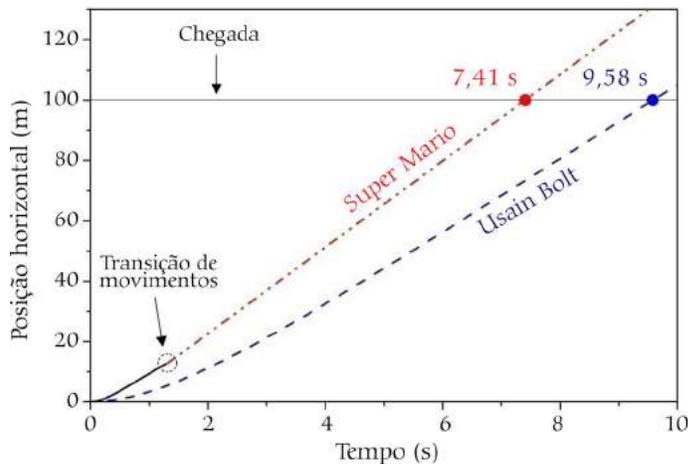


Figura 8 - Comparação dos deslocamentos horizontais entre Mario e Usain Bolt durante uma disputa dos 100 metros rasos. Para simular os dados do Mario foram utilizadas as Eqs. (3) e (4). Para simular os dados do Usain Bolt foi utilizada a Eq. (3).

autores discutem a importância de introduzir o cálculo na matriz curricular do ensino médio para adaptação prévia aos fundamentos e, dessa forma, a melhoria do desempenho no ensino superior [28]. O trabalho apresentado neste artigo pode, inclusive, servir de base para uma atividade multidisciplinar em uma disciplina de matemática

avançada.

#### 4. Conclusões

Este artigo investiga a física do jogo Super Mario World e compara os dados experimentais com a mecânica newtoniana. A análise do movimento vertical indica um MRUV, em que a aceleração local é mais de duas vezes

a aceleração do planeta Júpiter e, mesmo assim, o personagem consegue saltar com uma velocidade inicial maior que 80 km/h e altura máxima de 6,77 m. Ao manter a mesma velocidade inicial na Terra, Mario poderia saltar a aproximadamente 28 m de altura. Por outro lado, o movimento horizontal é complexo; o personagem apresenta duas velocidades terminais e o problema é aparentemente descrito num ambiente com arrasto. A elevada aceleração, ao partir do repouso, pode ser explicada pela soma da força aplicada pelo personagem contra o solo e uma segunda força de natureza desconhecida. A rapidez com a qual ele entra em velocidade terminal pode ser justificada pelo elevado coeficiente de arrasto turbulento. Mesmo com a complexidade e o balanço de diversas propriedades, Mario ainda consegue superar a velocidade do humano mais rápido do mundo e fazer jus ao nome Super Mario.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à MundoNintendo pelo apoio financeiro.

#### Referências

- [1] T. Barnes, E. Powell, A. Chaffin, A. Godwin, H. Richter, in *Anais do 12<sup>th</sup> Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, Dundee, 2007, editado por J. Hughes (ACM, New York, 2007), p. 121-125.
- [2] M. Rodrigues, P. Simeão Carvalho, *Physics Education* **48**, 431 (2013).
- [3] A.M. Bork, *American Journal of Physics* **43**, 81 (1975).
- [4] F. Esquembre, *Computer Physics Communications* **147**, 13 (2002).
- [5] A.A. Disessa, *Computers and Education* **4**, 67 (1980).
- [6] B.Y. White, *Cognition and Instruction* **1**, 69 (1984).
- [7] D. Zollman, *The Physics Teacher* **22**, 514 (1984).
- [8] C.M. Savage, A. Searle, L. McCalman, *American Journal of Physics* **75**, 791 (2007).
- [9] M. Gordon, G. Gordon, *Physics Education* **47**, 346 (2012).
- [10] D. Croxton, G. Kortemeyer, *Physics Education* **53**, 015012 (2017).
- [11] S.D. Mohanty, S. Cantu, *Physics Education* **46**, 570 (2011).
- [12] D.M. Bourg, *Physics Education* **39**, 401 (2004).
- [13] E. Novak, J. Tassell, *Computers in Human Behavior* **53**, 124 (2015).
- [14] History: Speedrun through video game history and learn about the games that made Mario the superstar he is today. Disponível em <http://mario.nintendo.com/history/>, acessado em 30/11/2018.
- [15] Mario simulator wiki: height and weight guide. Disponível em [http://super-mario-luigi-bros.wikia.com/wiki/Height\\_and\\_Weight\\_Guide](http://super-mario-luigi-bros.wikia.com/wiki/Height_and_Weight_Guide), acessado em 30/11/2018.
- [16] Fraps. Disponível em [www.fraps.com/](http://www.fraps.com/), acessado em 30/11/2018.
- [17] D. Brown, A.J. Cox, *The Physics Teacher* **47**, 145, (2009).
- [18] Open Source Physics. Disponível em [www.compadre.org/OSP/](http://www.compadre.org/OSP/), acessado em 30/11/2018.
- [19] Tracker. Disponível em <https://physlets.org/tracker/>, acessado em 30/11/2018.
- [20] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física (Mecânica)* (LTC, Rio de Janeiro, 2013), 9<sup>a</sup> ed.
- [21] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica (Mecânica)* (Editora Blücher, São Paulo, 2002), 4<sup>a</sup> ed.
- [22] J.J.H. Gómez, V. Marquina, R.W. Gómez, *European Journal of Physics* **34**, 1227 (2013).
- [23] F. Jauberteau, J.L. Jauberteau, *Applied Mathematics and Computation* **215**, 2283 (2009).
- [24] Usain Bolt: Berlin 100 m World Record Analysis. Disponível em <https://youtu.be/SyY7RgNLCUk>, acessado em 3/12/2018.
- [25] B. Choi, Y. Lee, T. Cho, H. Koo, D. Kim, in *Anais do 37<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Milano, 2015, editado por Sergio Cerutti e Paolo Bonato (IEEE, New Jersey, 2015), p. 7001-7010.
- [26] P.E. di Prampero, D.R. Pendergast, D.W. Wilson, D.W. Rennie, *Journal of Applied Physiology* **37**, 1 (1974).
- [27] P. Zamparo, C. Capelli, D.R. Pendergast, *European Journal of Applied Physiology* **111**, 367 (2011).
- [28] J. Molon, E.S. Figueiredo, *Ciência e Natura* **37**, 156 (2015).



# O martelo de Thor magnético: Associação de um experimento de física do Caminhão com Ciência com super heróis usando *project based learning*

• • • • •

**Adriano Marcus Stuchi\***

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

**Wésley Lima da Paz**

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

**Leonardo dos Santos Vaz**

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

**Fabio Rocha Gomes Jardim**

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

**George Kouzo Shinomiya**

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

**Fábio Alexandre Martins Monteiro**

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil

## RESUMO

O artigo descreve a construção de um experimento projetado para a ação de extensão Caminhão com Ciência da UESC com inspiração nas histórias em quadrinhos e filmes do personagem Thor. O experimento pode ser elaborado junto a estudantes usando a metodologia *project based learning* para desenvolver ações de ensino e aprendizagem de física, bem como para simplesmente ser utilizado em feiras de ciências e exposições. A ideia foi construir uma base onde possa ser depositado uma réplica do martelo de Thor de madeira, que somente poderia ser retirado por uma pessoa digna que desvendasse

os segredos da montagem. Um circuito eletrônico no corpo do martelo, ligado a um eletroímã potente, se comunica por radio frequência com outro eletroímã na base. A força magnética entre ambos só pode ser anulada quando o circuito do martelo é desligado pelo acionamento de um reed switch que funciona como interruptor.

**Palavras-chave:** eletromagnetismo; *project based learning*; ensino de física; Caminhão com Ciência; eletrônica

• • • • •

## 1. Introdução

O Caminhão com Ciência é uma ação de extensão da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) que promove exposições científicas itinerantes em escolas da região sul da Bahia desde o ano de 2006. Ao longo desses anos, as exposições de física têm se notabilizado pelo grande interesse dos alunos dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. Experimentos como a bobina de Tesla, o gerador de Van der Graff e Mirage, por exemplo, fazem muito sucesso pelos efeitos visuais, barulhos e brincadeiras que possibilitam.

A estratégia adotada pela monitoria da área de física consiste em chamar a atenção de forma lúdica inicialmente, para depois propor questionamentos que deem abertura para diálogos envolvendo conceitos físicos e aplicações tecnológicas. Como se trata de uma exposição que promove a educação não formal, a princípio sem vínculos mais restritos com a escola formal, há uma ampla liberdade para a abordagem de diversos assuntos relacionados aos experimentos, mas sem

aprofundamento dos temas.

Os diálogos em torno de experimentos do Caminhão com Ciência são rápidos e muitas vezes despertam o interesse dos alunos e professores para serem explorados com mais detalhes em casa, na sala de aula ou em feiras de ciências. Sendo assim, o objetivo deste artigo é dar uma contribuição aos professores de física que desejam aproveitar o entusiasmo e o interesse dos estudantes para trabalharem os conteúdos dos experimentos em sala de aula, usando uma metodologia em que construam o próprio conhecimento de forma a imitarem o fazer científico em laboratórios e centros de pesquisa.

Bell [1] afirma que *project based learning* (PBL) ou, em tradução livre, aprendizagem fundamentada em projetos, é uma abordagem de aprendizagem que propõe uma infinidade de estratégias fundamentais para o engajamento bem-sucedido para o século XXI. O fato de estudantes conduzirem a própria aprendizagem por meio de investigações, bem como trabalharem colaborativamente para pesquisar e criar projetos que refletem seu conhecimento, é muito benéfico como abordagem à instrução.

Situações criadas num PBL despertam a curiosidade natural dos alunos.

“A gênese de um projeto é uma investigação. Os alunos desenvolvem uma pergunta e são guiados através de pesquisas sob a supervisão do professor.” [1, p. 36] (tradução nossa). O PBL permite aos alunos aprender fazendo e aplicando ideias, engajados em situações similares à realidade do trabalho profissional científico [3].

**Os diálogos em torno de experimentos do Caminhão com Ciência são rápidos e muitas vezes despertam o interesse dos alunos e professores para serem explorados com mais detalhes em casa, na sala de aula ou em feiras de ciências**

\*Autor de correspondência. E-mail: stuchi@uesc.br

O PBL aplicado em sala de aula leva os estudantes a investigar questões, propor hipóteses e explicações, discutir suas ideias, desafiar as ideias dos outros e testar novas ideias. Mais além, os estudantes serão capazes de usar os conceitos estudados para explicar novas situações e fazer construções fora da sala de aula, formando conexões do conhecimento anterior com problemas mais gerais. As pesquisas têm demonstrado que estudantes engajados no PBL destacam-se em relação a estudantes que passam por processos tradicionais de ensino [3].

Cientistas que estão pesquisando a estrutura cognitiva para compreensão profunda que governa a aprendizagem relatam que nas escolas se ensina um conhecimento superficial em detrimento de um conhecimento profundo. O PBL pode ser uma alternativa de abordagem curricular que amplia o envolvimento dos estudantes no ensino e os ajuda a construir uma compreensão mais profunda de conceitos científicos [3].

É nesse contexto que o presente trabalho apresenta a construção de um “martelo de Thor magnético”, cujas motivações e procedimentos são adequados ao PBL e podem ser reproduzidos nas escolas. São desenvolvidos para a realização desse projeto saberes em física (eletricidade, eletromagnetismo e mecânica), eletrônica, desenho técnico e artes. O experimento do martelo de Thor foi desenvolvido pelos integrantes do Caminhão com Ciência da UESC.

O principal argumento para supor que a construção do experimento aqui mostrado motivaria os alunos a aprenderem mais sobre física e tecnologia, além das brincadeiras que ele proporciona no manuseio, está no fato de que os filmes de super-heróis têm levado um grande público aos cinemas, num mercado que movimenta bilhões de dólares. Isso significa que muitas pessoas — entre eles, em grande parte, adolescentes — se interessam ou se identificam com essas figuras originadas das histórias em quadrinhos (HQs).

Sendo assim, buscando criar uma construção conceitual com base no conhecimento prévio do público acerca do personagem Thor e seu poderoso martelo, denominado Mjöllnir, decidiu-

se juntamente com os integrantes do projeto Caminhão com Ciência colocar em prática a ideia de construir um Mjöllnir magnético com características físicas similares à arma desse personagem para auxiliar na explicação de fenômenos eletromagnéticos.

Para a melhor organização do artigo, primeiramente é mostrada a construção do martelo, comentando os procedimentos feitos durante a elaboração do projeto, para depois serem feitas considerações da montagem aplicando a metodologia do PBL usando essas informações. A solução realizada pela equipe do Caminhão com Ciência é aqui apresentada. Há, no entanto, um número indeterminado de maneiras como o experimento pode ser construído.

## 2. Visão geral do experimento

Thor, deus nórdico dos trovões e das batalhas, filho de Odin, usa o martelo *Mjöllnir* e o cinturão *Megingjörd*, que potencializa sua força [5]. Nos filmes se vê o martelo ser usado como arma e Thor dificilmente erra seus alvos com ele. O martelo lhe confere também o poder de alçar voos em grandes velocidades. Quando lançado, volta sempre para as mãos do herói. Somente Thor é digno de portá-lo. Por isso os poderes mágicos do martelo não permitem que seja retirado por mais ninguém da posição deixada por Thor. No entanto, nos filmes e histórias em quadrinhos alguns personagens conseguiram segurar, manipular e até destruir o martelo, mas não se sabe o motivo de se tornarem dignos para tal feito.

A inspiração inicial para o projeto do experimento veio de um vídeo publicado no *YouTube*<sup>1</sup> em que um programador americano constrói um martelo magnético e realiza inúmeras brincadeiras com as pessoas nas ruas de uma cidade dos Estados Unidos, desafiando essas pessoas a erguer o martelo de Thor do chão.

No vídeo em questão, o martelo é posicionado sobre a superfície de objetos metálicos, como por exemplo tampas de bueiros. Além do mais, o circuito eletrônico projetado desabilita o campo magnético produzido pelo martelo por meio da instalação de um sensor de impressão digital no martelo; dessa forma, permite apenas que o portador

da digital registrada na programação possa levantar o martelo.

A princípio, a ideia era deixar todos os componentes do experimento dentro do próprio martelo, como no vídeo em que nos inspiramos; porém, com o andamento dos trabalhos, devido à falta de recursos, outro arranjo foi construído com o material disponível. Ao embutir o sensor de toque do cabo, o eletroímã e a bateria dentro da estrutura do Mjöllnir, observou-se, pelos testes realizados, que seria necessário adquirir um eletroímã compacto de 12 V com capacidade para erguer 100 kg, para que a vida útil da bateria recarregável usada em *nobreaks* fosse maior, já que os experimentos devem permanecer funcionais por um período de 8 h nas exposições.

Além disso, eliminou-se o circuito projetado que, inspirado no vídeo, permite que apenas o portador da digital registrada na programação do Arduino usada pudesse levantar o martelo. Isso foi mudado para que todos pudessem ser dignos de levantar o martelo, desde que se interessassem em descobrir seus “segredos” científicos e tecnológicos. Com isso, uma alternativa também para o sensor capacitivo de toque, que aciona o circuito do eletroímã, foi buscada. A montagem ficou assim mais simples, por não haver mais a necessidade de um microcontrolador nem de programação.

Foi então realizada uma mudança significativa no projeto inicial, pela qual o experimento incluiria não mais somente o Mjöllnir, mas sim o martelo e uma base. Nessa base estaria fixado um eletroímã que não utilizaria mais baterias recarregáveis, mas sim uma fonte ligada diretamente na rede elétrica. Como o eletroímã da base foi adaptado de um transformador de alta tensão encontrado em fornos de microondas, a montagem não suportava mais o uso de baterias recarregáveis, pois ocorria uma descarga muito rápida que não permitia que o experimento funcionasse pelo tempo necessário numa exposição.

Além dessa adaptação, foi feita uma comunicação sem fio do Mjöllnir com a base, para que se tornasse possível acionar o eletroímã com um simples toque no cabo. Inicialmente, essa comunicação se deu com um conjunto emissor-receptor de radiofrequência (RF) para Arduino. No entanto, notou-se em testes um elevado *delay* entre a comunicação do transmissor com o receptor da base, que permitia ao visitante de uma

**Cientistas que estão pesquisando a estrutura cognitiva para compreensão profunda que governa a aprendizagem relatam que nas escolas se ensina um conhecimento superficial em detrimento de um conhecimento profundo**

exposição retirar o martelo da base se o puxasse rapidamente. A solução encontrada foi usar transmissor e receptor de carrinhos simples de controle remoto, que se movem apenas para a frente e para trás.

São detalhadas neste artigo as construções de duas versões do martelo, sugerindo o PBL para implementação em sala de aula. Os procedimentos de montagem mostrados podem ser utilizados por um professor de física, tendo como base o PBL para fazer com que os próprios alunos construam aparatos iguais ou semelhantes a esse para exposições em feiras de ciências ou demonstrações em aulas de física.

### 3. Montagem do experimento com a base

Para o funcionamento desse projeto, foram elaborados dois circuitos eletrônicos, um presente na base e outro no martelo. Percebeu-se a necessidade de haver comunicação entre os circuitos, e para isso foram utilizados um transmissor e um receptor de carrinhos de controle remoto, daqueles mais simples, que permitem mover apenas para a frente e para trás.

Para a construção completa desse experimento, pode-se dividi-lo em 4 partes fundamentais: 1) projeto do circuito eletrônico da base; 2) construção da base; 3) projeto do circuito eletrônico do martelo, e 4) construção do martelo.

Para a confecção desse experimento foram usados os seguintes materiais:

- 3 Transistores NPN BC548 (baixa potência)
- 1 Transistor T1: Tip 41C
- 3 Resistores 1 M $\Omega$ /1 K $\Omega$ /470  $\Omega$
- 2 Reguladores LM7805
- Receptor RF (carrinho de controle remoto)
- Transmissor RF (carrinho de controle remoto)
- Madeira MDF
- Chapas de alumínio
- 1 Bateria 9 V
- 1 Chave magnética (Reed Switch)
- 2 Interruptores
- 1 Ponte retificadora de alta potência P2: SkB7/04
- 1 Ponte P1: DC w10M - baixa potência
- 1 Capacitor C1: 35 V 2200  $\mu$ F
- 1 Capacitor C2: 250 V 4700  $\mu$ F
- 1 Relé 12v 250VAC
- 1 Transformador: 6 V de 200 mA
- 1 Transformador modificado: 12 V

- 26 A
- 1 Eletroímã: Transformador de microondas.

As 4 partes do projeto serão descritas a seguir.

#### 3.1. Projeto do circuito eletrônico da base

Os dois componentes principais nesse circuito são o receptor de radiofrequência e o eletroímã. Esses dois componentes devem ser alimentados por uma fonte de tensão contínua. Como a tensão da rede elétrica é alternada, há a necessidade de uma conversão de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC). Essa conversão é muito comum na maioria dos eletroeletrônicos, como aparelhos de televisão e computadores, por exemplo, pois esses equipamentos funcionam internamente com tensão contínua.

O equipamento que faz essa conversão é denominado fonte de alimentação, que possui os retificadores, que fazem a corrente circular em apenas

um sentido, e os filtros, que nada mais são que capacitores que suavizam a forma da onda após os retificadores [6]. A Fig. 1 resume os componentes necessários para realizar a conversão CA/CC.

Os retificadores são constituídos de diferentes combinações de diodos; a forma mais utilizada de retificador é de onda completa em ponte. Essa configuração é apresentada na Fig. 2, onde é mostrado um circuito que tem como entrada a tomada da rede elétrica, um transformador que reduz a tensão e em seguida o retificador de onda completa em ponte, sendo também apresentada a forma de onda da saída.

Sendo assim, o circuito eletrônico para alimentar o eletroímã é constituído de um transformador, do retificador de onda completa em ponte e de um capacitor para suavizar a forma de onda, apresentado na Fig. 3.

O eletroímã nada mais é que uma bobina composta por condutor percorrido por um fluxo de corrente, enrolado sobre um núcleo de material de alta permeabilidade magnética (material



Figura 1 - Componentes de uma fonte de alimentação. Fonte: Adaptado de Malvino e Bates [6].

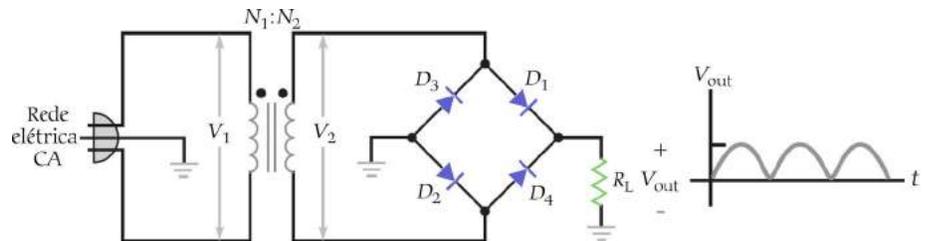


Figura 2 - Retificador de onda completa em ponte. Fonte: Adaptado de Malvino e Bates [6].

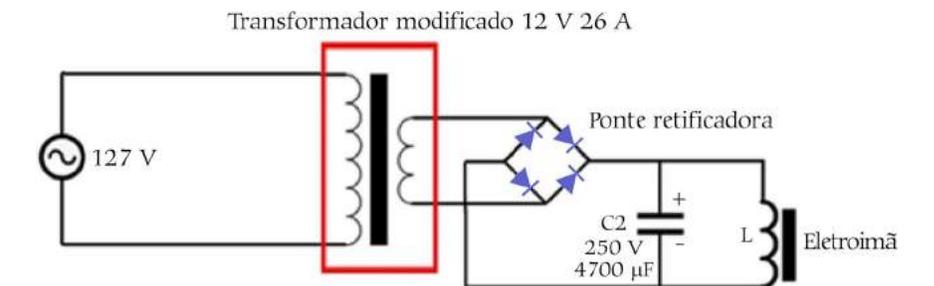


Figura 3 - Circuito do eletroímã.

ferromagnético) [7]. Dessa forma, é gerado um campo magnético concentrado e forte. A Fig. 4 apresenta um esboço de uma bobina sem o núcleo de ferro magnético; o fluxo magnético linear no centro da bobina dá origem às polaridades norte e sul nas extremidades [7].

Por convenção, a indicação pelos símbolos • e x representam o sentido da corrente saindo e entrando no plano da folha, respectivamente. A intensidade do campo magnético em Tesla, no interior da bobina, é determinada a partir da lei de Ampère e expressa por:

$$B = \mu \cdot i \cdot \frac{N}{L},$$

onde  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio no interior da bobina em Wb/A.m,  $i$  é a corrente no fio em A, e  $N/L$  é número de espiras por unidade de comprimento (m) [7].

Para alimentar o outro componente importante do circuito da base, que é o receptor de radiofrequência (RF), é utilizado um transformador de 127 V/6 V, outro retificador de onda completa em ponte, um capacitor e, constatando-se pelas especificações técnicas do receptor e transmissor que ele operava em uma tensão de 5 a 6 V, foi utilizado um regulador de tensão do tipo LM7805, que fez a regulação da saída do capacitor para 5 V. A Fig. 5 apresenta o circuito eletrônico para alimentar o receptor.

Ao receptor chegará informação do

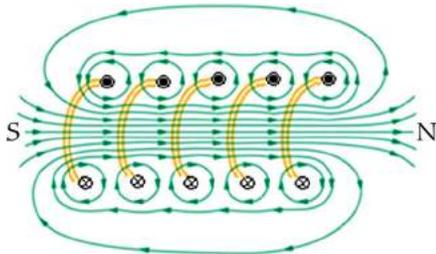


Figura 4 - Direção e sentido do fluxo magnético gerado pela bobina. Fonte: Halliday e Resnick [7].

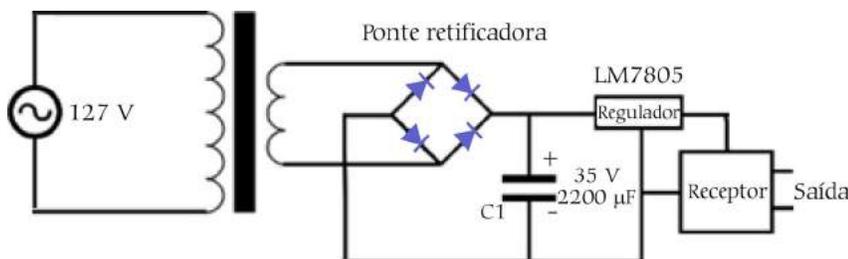


Figura 5 - Circuito do eletroímã.

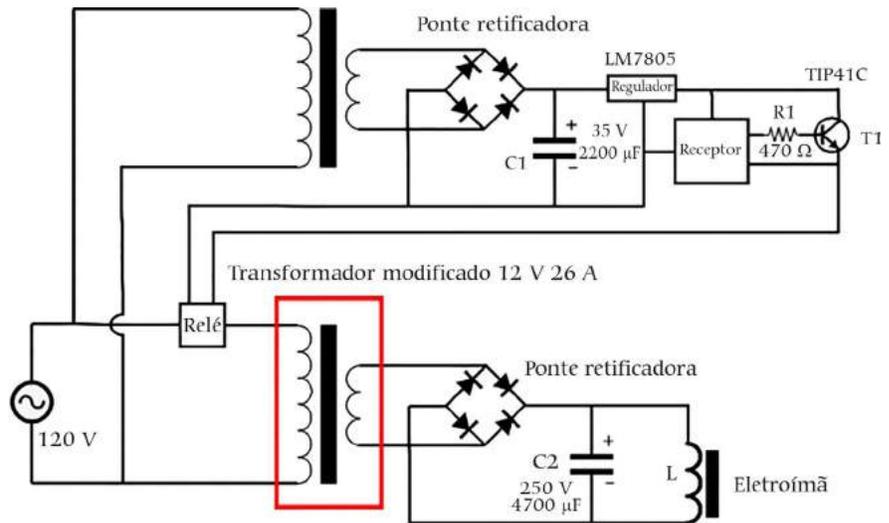


Figura 6 - Circuito completo da base do martelo de Thor.

transmissor que estará dentro do martelo, de modo que ao receber tal informação ativará o eletroímã, ou seja, a saída do receptor deverá chavear o circuito do eletroímã. Esse chaveamento pode ser conseguido por meio de um transistor acionando um relé. O transistor funcionará como uma chave. Em um transistor NPN é necessária uma tensão positiva atuando na sua base, para que o fluxo de corrente possa acontecer do coletor para o emissor.

O acionamento do transistor resultará na passagem de corrente elétrica que dispara o relé, que por sua vez possibilita a passagem da corrente elétrica para o transformador que alimenta o circuito do eletroímã. O circuito completo da base fica como apresentado na Fig. 6.

O eletroímã foi feito a partir do primário de um transformador de alta tensão de forno de micro-ondas de 20 L com 700 W de potência. O transformador de 6 V para alimentá-lo deve ser da mesma potência que o forno, para que não haja superaquecimento. Se o transformador for de potência menor (funciona com transformadores com até metade da potência do micro-ondas

usado), deve ser refrigerado em óleo. A redução da tensão contribui para que o eletroímã não aqueça muito, comprometendo a segurança do experimento.

Para a construção do eletroímã a partir de um transformador de alta tensão de micro-ondas, retiramos a parte da bobina secundária e fizemos um corte transversal de modo a deixar somente o espaço da bobina primária (Fig. 5).

### 3.2. Construção da base

A segunda etapa do projeto foi a construção da base do martelo, que é uma estrutura onde foi disposto o martelo para a exposição. Nela está contido todo o circuito eletrônico apresentado anteriormente, ou seja, o receptor, juntamente com o eletroímã responsável pela fixação temporária do martelo.

Para a construção dessa estrutura, optou-se pela utilização da madeira como matéria prima, por ser um material acessível, ligeiramente rígido e que atendia às necessidades da construção da base. Essa base tem o formato de uma torre retangular com uma fundação em formato circular, onde o público subiria para tentar a retirada do experimento, conforme a Fig. 8.

O corte das peças da torre foi feito com uma serra “tico-tico”. A junção dessas peças foi feita com pregos e cola de madeira, para depois ser feita a pintura. Na parte traseira da base, abrimos uma janela para realizar a montagem elétrica no interior da estrutura, além de servir também como um meio para reparar possíveis danos, ou até mesmo para realizar alguma melhoria no sistema.

### 3.3. Projeto do circuito eletrônico do martelo

Como a ideia desse experimento é desafiar os espectadores a retirar o martelo da base, foi feita no projeto eletrônico do martelo a adição de sensores no cabo para que identificasse um

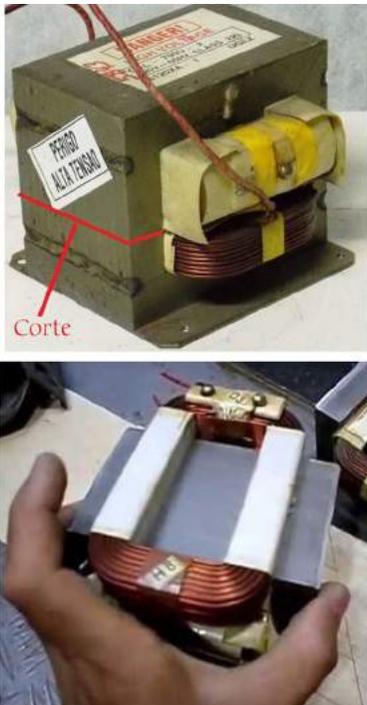


Figura 7 - Transformador de alta tensão de micro-ondas antes e depois do corte.

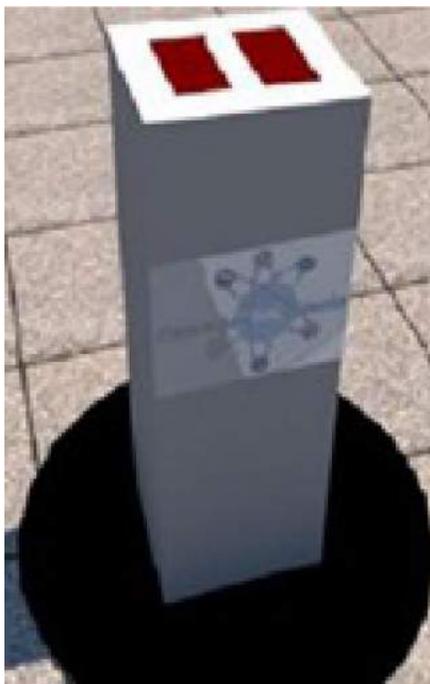


Figura 8 - Base do martelo de Thor.

simples toque quando alguém tentasse retirá-lo da base. Dessa forma, ao se pegar no cabo os sensores acionariam o transmissor, para que o receptor posicionado na base alimentasse o eletroímã, tornando impossível a retirada do martelo da base.

Os dois componentes principais nesse circuito são o transmissor de radiofrequência e os sensores no cabo. Esses dois componentes devem ser alimentados por uma fonte de tensão contínua, da mesma forma que no circuito da base. Para esse circuito foi usada uma pilha de 9 V. O transmissor opera numa tensão de 5 a 6 V, por isso inserimos um regulador de tensão que fez a redução da tensão da bateria de 9 V para 5 V, como desejado.

Os sensores são ligados ao transmissor de radiofrequência através de transistores. Dessa forma, os sensores são conectados a uma junção de dois transistores NPN de baixa potência conectados em uma ligação do tipo Darlington; o objetivo dessa ligação é multiplicar o ganho de corrente [6].

Como já mencionamos, para um transistor NPN ser acionado é necessária uma tensão positiva atuando na sua base. No circuito sensor, essa passagem da corrente para a base do transistor se dá pela pele do indivíduo que tentar levantar o martelo. A Fig. 9 apresenta o circuito eletrônico do transmissor e dos sensores.

Os contatos a serem utilizados no cabo do martelo foram ligados intercalados inicialmente na base do primeiro transistor da ligação *Darlington* (sensor 2) e o segundo contato do sensor 1 nos coletores dos transistores. Quando o visitante põe a mão no cabo do martelo

a corrente elétrica flui pela pele e estabelece o contato entre os sensores, acionando o transmissor RF para travar magneticamente o martelo na base. Sendo assim, uma das formas de conseguir levantar o martelo seria segurar no cabo pegando apenas em um único sensor, porém isso é muito improvável de ser feito na primeira tentativa, pois os sensores 1 e 2 são posicionados muito próximos, como mostramos na Fig. 12.

Com o intuito de o monitor da exposição surpreender os expectadores levantando o martelo do Thor com facilidade, foi adicionada uma outra parte no circuito eletrônico do martelo, ou seja, uma forma secreta de desligar o transmissor de RF. Para isso, foi implementado no circuito uma chave magnética, denominada *reed-switch*. Esse componente é uma chave que funciona por campo magnético, fechando seus contatos internos quando é aproximado um ímã, por exemplo. Ao ser retirado o ímã, seus contatos abrem-se novamente. Sendo assim, a chave magnética foi inserida no circuito propositalmente antes do regulador de tensão que fornece a alimentação para o transmissor, de acordo com a Fig. 10.

Ao se analisar o circuito, percebe-se que, ao se acionar a chave magnética, a corrente elétrica prefere passar pelos terminais da chave magnética e fechar o circuito, em vez de seguir em frente até o transmissor.

Portanto, para levantar o martelo facilmente basta aproximar um ímã da chave magnética, daí a ideia de posicionar essa chave magnética no interior do cabo. Dessa forma, o expositor do experimento pode utilizar um ímã

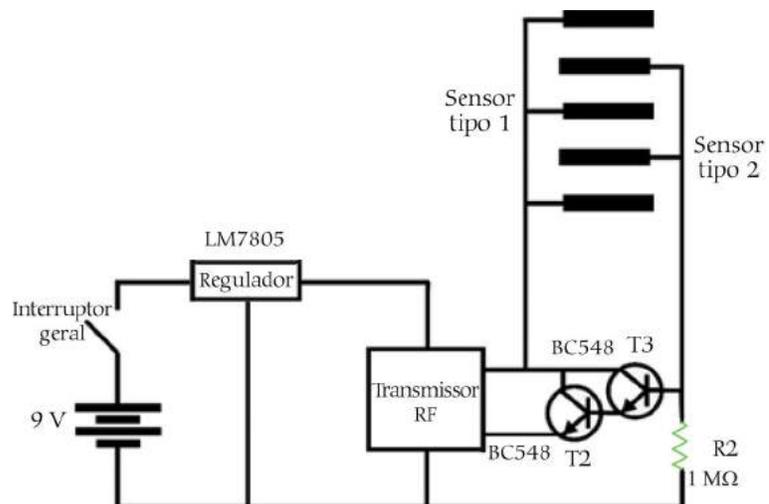


Figura 9 - Circuito do transmissor e sensores.

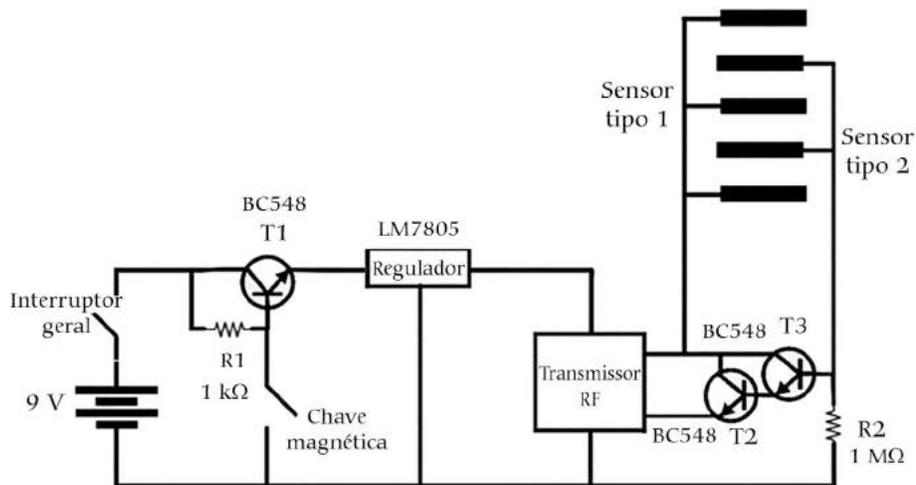


Figura 10 - Circuito completo do martelo de Thor.

discretamente na mão — por exemplo, debaixo de um curativo adesivo. Quando aproximar a mão da região da chave magnética, levantará o martelo com facilidade.

Ao aproximar a mão contendo o ímã do circuito eletrônico do cabo do martelo, na região onde está presente a chave magnética, todo o circuito transmissor é desativado, possibilitando assim a retirada do martelo da base, tendo sido, portanto, considerado "digno" para conseguir utilizar o martelo, como na lenda de Thor [5].

É importante salientar que, com esse modelo de circuito elétrico, o experimento só será ligado quando alguém tocar nos sensores presentes no cabo do Mjölñir, economizando energia e aumentando sua vida útil.

### 3.4. Construção do martelo

Para essa etapa, foi necessário termos uma ideia da distribuição espacial do Mjölñir. Para isso, foi desenvolvido um modelo tridimensional utilizando o programa *SketchUp* 2017, versão para estudante, seguindo as dimensões

mostradas na Fig. 11. O uso de ferramentas de modelagem 3D é de grande ajuda, pois exibe uma visão preliminar do projeto antes de sua construção, permitindo até mesmo correções em termos de design.

Toda a estrutura do martelo foi feita em madeira mole, para facilitar a usinagem, com espessura de 2 cm (essa medida pode variar um pouco, desde que a caixa do martelo fique resistente). O modelo foi construído de modo a aproximar-se ao máximo do que foi idealizado para o tamanho real do artefato.<sup>2</sup> Além disso, foi importante também deixar o máximo de seu interior vazio, para a instalação dos circuitos elétricos e do bloco feito com chapa metálica, mantendo o design do *Mjölñir* fiel ao formato da arma exibida nos filmes.

Feitos os cortes, passamos à etapa de entalhe e acabamento. Com base em imagens obtidas na internet, são feitos os detalhes em baixo relevo, que podem ser feitos com formão ou microrretífica, de modo a eliminar as imperfeições no entalhe. Feito isso, as peças são

pintadas com tinta spray prateada encontrada em lojas de materiais para construção.

O cabo do Mjölñir foi construído em cano PVC de 1 polegada de diâmetro e aproximadamente 30cm de comprimento. Os detalhes de alumínio foram moldados de acordo com o visual do martelo de Thor dos filmes, conforme apresentado na Fig. 12.

Em cada detalhe, presos no cano com rebite, colocamos os polos dos sensores de toque de maneira alternada para facilitar o toque das mãos nos dois tipos de sensores usados (sensores 1 e 2 da Fig. 9), acarretando a ativação do circuito do eletroímã que impede o indivíduo de levantar o martelo. Esses contatos podem ser feitos de alumínio estilizado, para que o martelo fique parecido com o de Thor, devendo estar bem próximos. Os polos do sensor capacitivo foram conectados a cada um dos detalhes por meio de fios internos no cano. No cabo também foi adicionada a chave magnética internamente, conforme já apresentado na Fig. 10.

A estrutura física do martelo é apresentada na Fig. 13(a). A bateria que alimenta o circuito eletrônico do martelo fica na parte superior do cabo, para que seja fácil a sua retirada para recarga ou reposição. Juntamente com essa bateria há um interruptor para o desligamento do circuito do Mjölñir quando não utilizado, conforme apresentado na Fig. 13(b). Toda a parte do circuito eletrônico à esquerda do regulador de tensão (Fig. 10) deve ficar dentro do cabo, para facilitar o manuseio.

A parte maior e mais pesada da

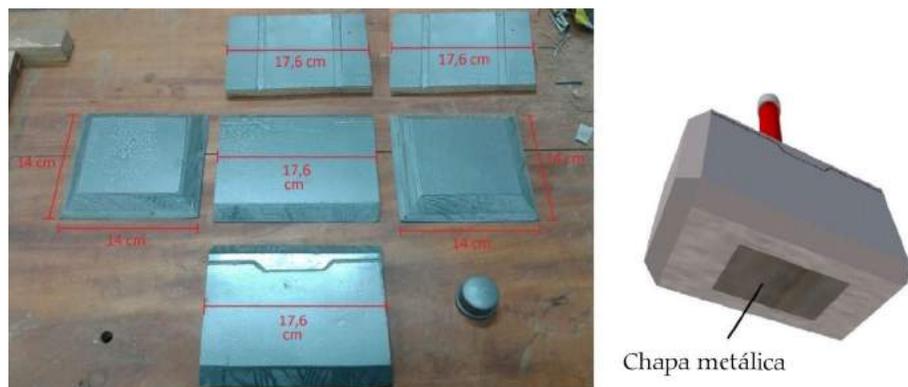


Figura 11 - Dimensões do Mjölñir e perspectiva 3D.

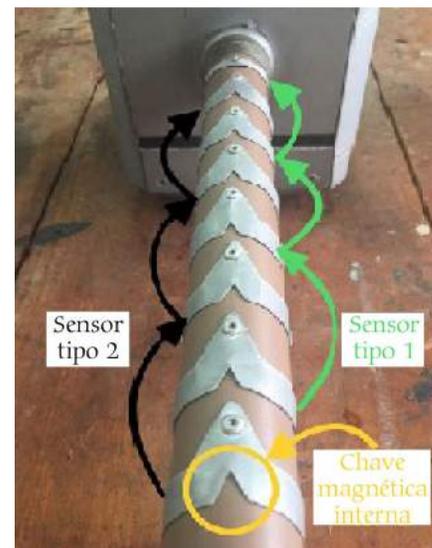


Figura 12 - Detalhe do cabo do martelo.

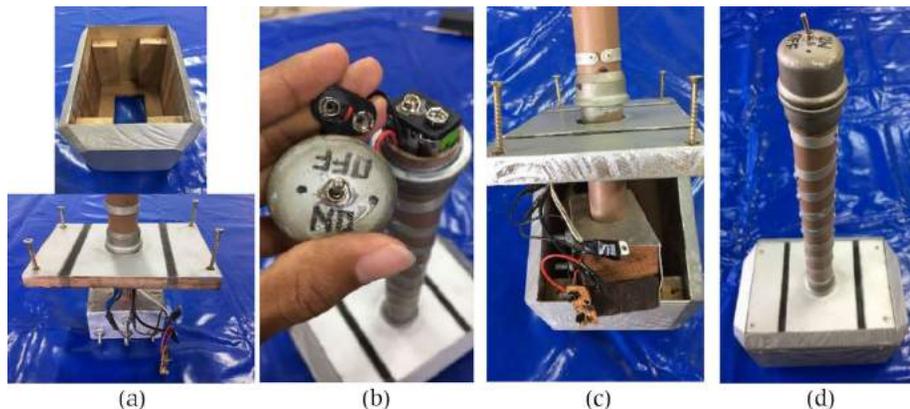


Figura 13 - Montagem do martelo de Thor; (a) estrutura física, (b) alimentação de 9 V do circuito, (c) circuito dos transistores e transmissor, (d) martelo finalizado.

cabeça do martelo é o bloco de madeira envolvido por uma chapa metálica. O bloco de madeira fica isolado dos circuitos internos do corpo do martelo e serve para ser atraído pelo eletroímã que fica na base do experimento. Em nossa montagem, parafusamos o bloco com a chapa no cano de PVC. Abaixo mostramos fotos da montagem Fig. 13 (c). A Fig. 13(d) apresenta toda a estrutura física do martelo construída.

Realizamos testes para verificar se as peças se encaixavam dentro do modelo, calçando o bloco metálico para que não se movimentasse. Assim, a montagem ficou robusta e segura para ser manipulada por crianças e adolescentes nas escolas visitadas pelo Caminhão com Ciência.

#### 4. Montagem do experimento sem a base

Apresentamos na Fig. 14 o circuito do martelo em que a base seria eliminada, ficando mais parecido com o vídeo em que nos inspiramos para a construção:

Esse circuito tem dois tipos de transistor: o transistor TIP 41C de alta potência e o BC548. Como a base foi eliminada nesse caso, será necessária uma chapa grossa de ferro ou aço para que o martelo se fixe pela ação da força magnética gerada no eletroímã, como uma tampa de bueiro, por exemplo.

Para o eletroímã que pesquisamos

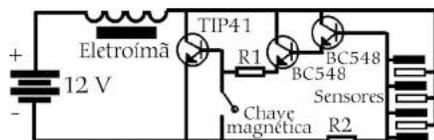


Figura 14 - Circuito único a ser adaptado dentro do martelo.

no mercado com capacidade de carga de 100 kg e tensão de 12 V, seriam necessárias no mínimo duas baterias de *nobreak* de 6 V e 1.3 A ligadas em série para o funcionamento do martelo. Pelas dimensões das baterias encontradas no mercado, estimamos que o corpo interno do martelo pode comportar duas delas, além do circuito. A autonomia pode variar de acordo com a qualidade das baterias, mas teoricamente seriam de um pouco mais de uma hora de funcionamento ininterrupto.

Com a chave magnética desligada, o circuito amplifica a corrente, que é conduzida pelas mãos da pessoa que segura o cabo do martelo através dos transistores BC548, por serem do tipo NPN ligados com o coletor no polo positivo da bateria e a base nos terminais do cabo do martelo, permitindo uma polarização positiva da base com fluxo amplificado de corrente no sentido coletor-emissor.

Esse fluxo positivo de corrente alcança a base do transistor TIP 41C, que também é NPN. Nessa configuração, o transistor mencionado promove a amplificação da corrente da bateria que passa pelo eletroímã através do fluxo que vai do coletor ao emissor. Como essa corrente é relativamente alta, é preciso que esse transistor seja de alta potência e esteja conectado a um dissipador de calor.

A situação muda quando a pessoa que conhece o segredo do martelo aproxima um ímã da chave magnética. Nessa situação, vai haver uma divisão

de tensão no circuito com o resistor 2, não permitindo o funcionamento do eletroímã.

#### 5. Project based learning

Associada à experiência do Caminhão com Ciência, observamos em escolas públicas em que realizamos oficinas para ensino de física já há alguns anos a tímida participação dos alunos e o baixo interesse pela disciplina, mesmo em atividades envolvendo ciência e tecnologia como, por exemplo, a aplicação de *smartphones* ao ensino de física. Aliado a isso, constatamos que muitos alunos, mesmo com boas notas, ainda não conseguem ter uma compreensão profunda dos conteúdos desenvolvidos na escola em ciência, literatura ou matemática, como nos mostram Krajcik e Blumenfeld [3].

Krajcik e Blumenfeld [3] recomendam que as questões propostas no PBL devem ser de um grau de dificuldade tal que permita aos estudantes planejar e executar investigações; que sejam relevantes e tenham rico conteúdo científico; que se alinhem ao fazer dos cientistas, e que sejam contextualizadas no mundo real, além de inusitadas, importantes, significativas, empolgantes e éticas.

**As questões propostas no PBL devem ser de um grau de dificuldade tal que permita aos estudantes planejar e executar investigações que sejam relevantes e tenham rico conteúdo científico, que se alinhem ao fazer dos cientistas, e que sejam contextualizadas no mundo real**

contextualizadas no mundo real, além de inusitadas, importantes, significativas, empolgantes e éticas.

Ao longo do projeto, as questões devem remeter aos conceitos a serem abordados, que nesse caso são ondas

eletromagnéticas, indução eletromagnética, força magnética, potência elétrica, retificação de corrente elétrica, amplificação de corrente elétrica e emissão e recepção de radiofrequência, a depender da montagem a ser executada.

Apresentamos a seguir a síntese das ideias de Krajcik e Blumenfeld [3] sobre as principais ações na perspectiva característica do PBL:

1. Deve haver uma questão principal que represente um problema a ser resolvido.
2. Os estudantes devem explorar a questão central, participando em processos de investigação para resolução do problema proposto como performance central. Conforme os estudantes exploram a situação-problema, devem aprender e aplicar importantes ideias na disciplina.
3. Professores, estudantes e

- comunidade em geral podem e devem se engajar num trabalho colaborativo na busca de solução para a situação-problema.
- Quando engajados em processo de investigação, os estudantes aprendem tecnologias que os ajudam a participar de atividades que normalmente estariam além de suas habilidades.
  - Os estudantes criam uma série de produtos que levam à solução da situação-problema; esses produtos constituem-se de artefatos publicamente compartilhados que representam a aprendizagem da classe [3].

Pesquisas na área de ensino de ciências têm apontado que a aprendizagem profunda ocorre quando os aprendizes constroem ativamente a compreensão em experiências em que efetivamente interagem com o mundo. “O desenvolvimento da compreensão é um processo contínuo que requer do estudante uma construção e reconstrução do que sabe a partir de novas experiências e ideias” [3, p. 318 – 319, tradução nossa].

Krajcik e Blumenfeld [3] afirmam ainda que as referidas pesquisas mostram que a aprendizagem acontece quando os alunos estão situados em um contexto real de produção do conhecimento, assim como na prática de trabalhos científicos nos quais planejam investigações, realizam explicações, propõem modelos e apresentam as ideias aos pares.

Os melhores resultados em termos de aprendizagem ocorrem quando professores, estudantes e comunidade trabalham juntos na construção de um conhecimento compartilhado. Estratégias para promover a participação dos alunos na construção dos conceitos aplicados a cada etapa da montagem do experimento são uma função essencial do professor. Deve ser incentivado o emprego de ferramentas tecnológicas e matemáticas como demonstrações, vídeos, games, simulações computacionais, tabelas e gráficos ou artefatos físicos. Todas essas experiências são importantes para que os estudantes estejam sempre revendo e refletindo sobre seu trabalho [3].

Ao professor, cabe a reflexão sobre quais as tarefas que seus alunos podem realizar e como essas ações se aproximam do que se pretende cognitivamente alcançar. Na maioria das escolas não há laboratório de física e os

professores geralmente não têm conhecimento profundo de eletrônica. Por isso, propomos que se ajudem os alunos a compreender os fenômenos físicos que permitem o funcionamento do martelo passo a passo, oferecendo as construções em eletrônica como elementos de tecnologia que no final de cada etapa viabilizam as propriedades físicas desejadas para o instrumento, tendo sido estas previamente debatidas, discutidas e compreendidas coletivamente.

Nesse sentido, Bell [1] afirma que o PBL também promove a aprendizagem social, ampliando as habilidades de comunicação, negociação e colaboração. Estudantes envolvidos nesses projetos tornam-se bons debatedores de ideias e bons ouvintes em seus grupos. Habilidades como a escuta ativa aumentam a capacidade de colaboração e a criatividade. Gerar ideias em grupo é fruto de respeito pela equipe e constitui habilidades fundamentais de comunicação produtiva. Bell [1] recomenda ainda que os alunos façam autoavaliação no final do projeto, não apenas do aprendizado de conteúdos e procedimentos, mas também do sucesso das interações sociais.

## 6. Project based learning aplicado à construção coletiva do martelo de Thor

Os procedimentos de montagem mostrados anteriormente podem ser utilizados por um professor de física tendo como base o PBL para fazer com que os próprios alunos construam aparatos iguais ou semelhantes para uma feira de ciências, por exemplo. As principais dificuldades e soluções dos problemas encontrados pelos monitores do Caminhão com Ciência são relatadas no passo a passo da construção do experimento.

As situações às quais os conceitos seriam aplicados são de ficção, mas estão presentes na consciência da imensa maioria dos adolescentes que frequentam aulas de física no Ensino Médio, devido ao grande sucesso dos personagens, principalmente no cinema. O objetivo central desse PBL seria aprofundar a compreensão de conceitos de eletromagnetismo e eletrônica, bem como de procedimentos de investigação científica para elabo-

ração do martelo de Thor. O recorte da situação vista nos filmes seria aquela em que mais ninguém consegue levantar o martelo do super-herói por não ser uma pessoa “digna” para isso. Um exemplo dessa situação está numa cena do filme *Vingadores: era de Ultron*.<sup>3</sup>

Schiefele [4] chama a atenção para a importância da definição de interesse como uma característica motivacional específica do conteúdo, onde entram o sentimento e o valor de forma seletiva. O interesse é fundamental para a compreensão em profundidade de textos, o uso de estratégias de aprendizagem e a qualidade da experiência emocional enquanto se aprende.

Schiefele [4] classifica ainda o interesse individual como uma orientação de longo prazo para um tipo de objeto, atividade ou área de conhecimento que podem repercutir no sujeito em uma relação de valor ou sentimento. A autora deduz que interesses individuais determinam a força e a natureza da orientação motivacional que um aluno adota em uma situação específica. Sendo assim, o interesse deve ser indicativo de orientações motivacionais específicas e em consequência de resultados de aprendizagem também específicos.

A dignidade está relacionada a uma qualidade moral que impõe respeito, por isso soa como uma provocação que motiva as pessoas a tentar levantar o martelo. Na brincadeira proposta com o experimento, essa ideia é transposta como uma qualidade daquele que tem um melhor conhecimento científico e técnico que possibilite a façanha. Para se tornar digno diante de um protótipo de martelo semelhante ao do personagem Thor, é necessário removê-lo de um local estabelecido, por meio de estratégias que possam criar e anular forças eletromagnéticas entre a cabeça do

martelo e uma base.

A partir daí, pode ser elaborada uma pergunta central para que se estabeleçam as diretrizes iniciais para a realização do projeto e motive os alunos: como reproduzir a situação dos filmes de super-heróis em que somente o mais digno conseguiria retirar o martelo de uma base? Essa questão pode ser ou não definida pelo professor com a colaboração dos alunos ou de membros da comunidade escolar. O mais importante é que as

**Estudantes envolvidos nesses projetos tornam-se bons debatedores de ideias e bons ouvintes em seus grupos de trabalho. Habilidades como a escuta ativa aumentam a capacidade de colaboração e a criatividade**

ações curriculares devem ser realizadas em torno dela para conduzir os estudantes a se engajarem na exploração das possíveis soluções.

Desde o início os alunos podem ser divididos em grupos para apresentarem suas propostas. O professor pode viabilizar o teste dessas propostas e os debates para a construção das primeiras ideias do projeto. No debate inicial, a questão norteadora deve estar relacionada ao tipo de força que poderia ser gerada de maneira relativamente fácil para que vencesse o puxão dos braços de uma pessoa para tentar levantar o martelo.

As escolhas dos alunos são fundamentais para o PBL e indicam a direção a ser seguida no processo, sob supervisão e orientação do professor. Estudantes com ideias ou habilidades semelhantes podem trabalhar em cooperação. Ao professor cabe estar atento se os resultados ao longo do projeto contemplam as escolhas e ações dos alunos [1].

O projeto nasce com a atribuição pelo professor das fases que o compõem e como cada grupo de alunos pode se responsabilizar por elas e os resultados a serem obtidos. Bell [1] fala da importância de os resultados serem compartilhados com um público-alvo de acordo com o tema a ser pesquisado e a apropriada escolha da audiência, como pais, professores ou comunidade em geral, por exemplo. A autora reforça a necessidade de se estabelecerem metas para os alunos em cada fase do PBL. O professor tem a responsabilidade de conferir se os grupos de alunos estão no caminho certo, se estão desenvolvendo todas as suas habilidades e se trabalham com responsabilidade.

No PBL sobre o martelo de Thor, as etapas a serem cumpridas podem ser divididas na compreensão dos fenômenos físicos envolvidos, na construção do corpo e/ou da base do martelo em madeira e na aplicação da tecnologia necessária para a obtenção dos fenômenos desejados. O projeto que apresentamos tem a “cara” do Caminhão com Ciência da UESC. Cada projeto deve refletir as características peculiares dos seus autores.

A discussão pode iniciar com o vídeo do YouTube para a problematização da situação de “dignidade”

relacionada a se levantar o martelo. O vídeo da brincadeira feita pelo jovem americano pode mostrar que é possível reproduzir a mesma situação em determinado contexto. Uma pequena edição do vídeo seria necessária para que os alunos não vissem ainda o martelo pronto, mas visualizassem apenas as brincadeiras feitas com o instrumento em situações reais.

Depois de ampla discussão e contextualização promovida por um grupo de alunos responsáveis pela pesquisa e discussão, por exemplo, a força magnética

pode ser consensual como a mais viável para a produção dos efeitos observados no martelo, com apresentação de modelos de como essa força atuaria no sistema.

Como essa força poderia ser produzida seria a próxima

etapa. Nesse momento, o professor pode orientar os alunos a fazerem demonstrações com eletroímãs de baixo custo para uma investigação de suas propriedades. O objetivo dessa etapa é possibilitar aos alunos perceber a dependência da intensidade do campo magnético produzido com a corrente elétrica contínua de uma fonte.

Sabendo disso, uma pesquisa em grupo na internet é uma possibilidade de se relacionar tipos de eletroímãs que se adequariam à montagem, ou seja, que a força produzida não seja vencida por um homem forte. Como construir um circuito que alimente um eletroímã potente para um dispositivo portátil como o Mjöltnir? Ampla debate será necessário, levando em consideração as observações feitas na seção sobre a montagem dos circuitos. Por fim, o professor pode oferecer a tecnologia de montagem do martelo que mostramos. Bell [1] recomenda a documentação de todas essas ações.

A depender do interesse dos alunos e dos conhecimentos do professor em eletrônica, as discussões podem ser muito aprofundadas. A internet oferece muitos projetos de circuitos retificadores e amplificadores de corrente que podem ser usados, a depender das escolhas feitas para o projeto. A adequação das sugestões dadas nessas pesquisas dos alunos ao propósito final da montagem será orientada pelo professor, sempre questionando e buscando fazer com que aprofundem seus conhe-

cimentos em ciência e tecnologia.

Uma leitura muito recomendada para o ensino de física para o Ensino Médio está no volume 3 da obra de Alberto Gaspar [2], onde o autor dá os fundamentos de transistores e diodos, fundamentais para os circuitos amplificadores e retificadores de corrente elétrica.

A eventual falta de experiência dos alunos em eletrônica pode ser suplantada com pesquisas e apresentação de conceitos básicos como ligações em série e paralelo, solda, montagem de circuitos, diodos e suas funções aplicadas ao projeto, transistores e suas funções aplicadas ao projeto, sensores e chaves magnéticas, todos orientados e organizados pelo professor para dar suporte aos alunos para a construção do Mjöltnir desde os fundamentos básicos. A obra de Newton Braga<sup>4</sup> sobre eletrônica e seus fundamentos pode ser usada para auxiliar nas escolhas feitas ao longo do projeto e fundamentar esses momentos.

## 7. Considerações finais

Nossa intenção maior é contribuir para que os alunos possam dar vazão ao interesse e à empolgação que demonstram nas exposições do Caminhão com Ciência da UESC.

O interesse pela física que gera motivação a realizar algo é muito difícil de se conquistar na escola contemporânea. Todas as ações aqui propostas podem gerar bons resultados na aprendizagem da disciplina, bem como em suas aplicações tecnológicas por meio da eletrônica, aliadas à educação para o trabalho colaborativo com implicações para a vida em sociedade e seus desafios.

As interações sociais proporcionadas pelo PBL por meio de trabalho em grupo, debates, divulgação de resultados e investigações, por exemplo, faz com que os alunos possam se sentir elementos fundamentais na construção de um produto que gerou conhecimento, suscitado por seu próprio esforço, atribuindo-lhe assim maior valor e significado.

Temos aqui também uma proposta que busca dar contribuições para a transposição da educação não formal, característica das exposições itinerantes do Caminhão com Ciência e tantos outros projetos similares, para a educação formal das escolas. Esse intercâmbio é sempre muito requisitado por professores e alunos nos locais que visitamos e pode ser a fonte que fomenta

**O intercâmbio mais longo entre ações itinerantes de popularização da ciência como o Caminhão com Ciência e as escolas, sempre muito requisitado por professores e alunos nos locais visitados, pode fomentar um novo ânimo para aulas de física**

um novo ânimo nas escolas, ampliando o alcance das ações de projetos de popularização da ciência como o nosso.

### Referências

- [1] S. Bell, The Clearing House. **83**,(2010).
- [2] A. Gaspar, *Compreendendo a Física - Manual do Professor* (Editora Ática, 2013), 2ªed.
- [3] J.S. Krajcik, P.C. Blumenfeld, *Project Based Learning. In: R.K. Sawyer*. (Cambridge Handbook of the Learning Science. Cambridge University Press, 2006)
- [4] U. Schiefele, Educational Psychologist. **26**, (1991).
- [5] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Thor>.
- [6] A. Malvino, D. Bates, *Eletrônica Volume 1*. (AMGH, 2016).
- [7] D. Halliday, R. Resnick, *Fundamentos de Física: Eletromagnetismo*. (LTC, 2016).

### Note

<sup>1</sup>[https://youtu.be/a\\_a9X669pNw](https://youtu.be/a_a9X669pNw)

<sup>2</sup>Sites como <http://blogdebrinquedo.com.br/2012/01/27/replica-perfeita-de-mjolnir-o-martelo-de-thor/> oferecem as dimensões de réplicas do martelo original usado nas produções cinematográficas.

<sup>3</sup><https://www.youtube.com/watch?v=50QyREMIFfk>

<sup>4</sup><http://www.newtonbraga.com.br>

# Equivalente mecânico do calor: Aprimorando um calorímetro elétrico para obtenção da relação entre calor e trabalho



.....

**Jacson Santos Azevedo\***

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

**Francisco Nairon Monteiro Júnior**

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

## RESUMO

*O objetivo deste artigo é descrever todo o percurso trilhado por nós na busca de aperfeiçoar um calorímetro elétrico para encontrar a relação entre trabalho e calor, mais conhecida como equivalente mecânico do calor, estabelecida por James Prescott Joule (1818 - 1889) e dada por  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ . Para tal, nosso aparato, mesmo não realizando trabalho mecânico, foi gradualmente se aproximando da igualdade anterior por meio de substituições da fonte chaveada e do cuidado na aferição da temperatura de equilíbrio térmico, dentre outros ajustes, conduzindo a resultados interessantes e aproximados do valor tabelado. Sem tomar como uma busca desmedida a validação da relação entre calor e trabalho, também queríamos um aparato mais consistente e qualificado para ser implementado em sala de aula.*

**Palavras-chave:** equivalente mecânico do calor; atividades experimentais; calorímetro elétrico

.....

## 1. Introdução

O equivalente mecânico do calor desperta muita curiosidade pelo alto teor de engenhosidade que cerca o aparato construído pelo cientista inglês James Prescott Joule que basicamente, de acordo com Souza e cols. [1], transformava energia de gravidade, pela interação das duas massas iguais com a Terra, em energia interna da água, considerando o conceito atual de energia interna de uma substância, ou seja, uma energia essencialmente associada ao movimento translacional e rotacional de átomos e moléculas de um objeto mais sua energia potencial de ligação [2, 3]. Essa conceituação é de extrema importância quando consideramos que, em determinado momento de suas investigações sobre a natureza do calor, Joule abraçou a concepção de calor como movimento ou vibração de partículas em uma substância, defendida, dentre outros, por Rumford (1753-1814) ao realizar experiências com usinagem de canhões [4, 5, 6]. Portanto, Joule passou a ser um crítico da teoria do calórico como veremos em seguida.

Carvalho e Gomes [7], fazendo uso da análise textual discursiva com textos originais publicados por Joule, descrevem a passagem dele entre a concepção do calórico e a teoria dinâmica do calor. Porém, segundo os autores, essa transição conceitual de Joule se deu dentro de uma zona contínua, entre o calórico e a ideia de calor como movimento microscópico em substâncias nos extremos desse contínuo, isto é, ele não executou um salto discreto entre a posição dos caloristas para a conceituação dinâmica do calor. Medeiros e Monteiro Jr. [8] e Carvalho e Sasseron [9], em se tratando do uso da história da ciência como ferramenta instrucional no ensino, apontam a transitoriedade dos

conhecimentos científicos e o caráter de atividade humana, passível de erros e reconstruções de conceitos, porém pouco presente no imaginário dos estudantes. Episódios como os evocados por Carvalho e Gomes [7] contribuem para desmistificar a atividade científica investigativa construída pelos cientistas como obra de deuses e sem equívoco.

Passos [10], centrando sua pesquisa na construção coletiva do princípio da conservação da energia ou primeira lei da termodinâmica em uma perspectiva histórica, traz considerações importantes a respeito do equivalente mecânico do calor. Entre essas considerações, o autor cita Mayer (1814-1878) como o primeiro a obter um valor de  $3,6 \text{ J/cal}$  para o equivalente mecânico do calor, mas injustiçado pelo não reconhecimento de seu pioneirismo em uma disputa travada com Joule [11]. Outros nomes importantes da física também encontraram valores para o equivalente mecânico do calor por métodos experimentais distintos, tais como o Conde Rumford com  $5,5 \text{ J/cal}$ ; Carnot (1796-1832) com  $3,7 \text{ J/cal}$ ; Hirn (1815-1890), em 1854, com  $3,6 \text{ J/cal}$  e  $4,2 \text{ J/cal}$ , e Joule, em 1850, com  $4,159 \text{ J/cal}$ , de acordo com uma tabela apresentada por Passos [10].

Souza [12] comenta a tentativa de Heinz Otto Sibus, na década de 1990, em validar o valor encontrado por Joule para o equivalente mecânico do calor pela reconstrução fiel do aparato de Joule, mediante consulta às fontes primárias deixadas por ele. Segundo a autora, Otto Sibus descreve dificuldades para reconstruir fielmente o aparato original, pois, os termômetros utilizados por Joule não podiam mais ser reconstruídos: o laboratório de Sibus não reproduzia condições climáticas análogas à adega usada por Joule,

\*Autor de correspondência. E-mail: jacsonsantosazevedo@gmail.com

variando a temperatura ambiente com o passar do tempo, e a turbina da reconstrução de Sibum era distinta das pás do calorímetro de Joule. O resultado definitivo encontrado por Sibum, nessa reconstrução híbrida, mas que preservou o princípio da conservação da energia, foi de 772,692 lbf.pé/BTU e, portanto, muito próximo do encontrado por Joule em 1850, correspondente a 772,55 lbf.pé/BTU [10].

Souza e cols. [1] apresentam uma tentativa de reprodução híbrida do equivalente mecânico do calor. Preservando o mesmo princípio físico que balizou o calorímetro de pás de Joule, os autores fizeram adaptações no aparato como, por exemplo, fazendo uso de um motor elétrico para agitar a massa de água no calorímetro. A turbina que agitava a água também passou por aperfeiçoamentos como o tipo de material utilizado em sua fabricação e o número de pás, assim como o volume de água no vaso calorimétrico passou por mudanças para compensar seu calor específico alto que dificultava aumentos expressivos de sua temperatura, gerando assim grandes dissipações de energia durante o funcionamento do aparato. Contudo, de acordo com os autores, não foi possível encontrar um valor para o equivalente mecânico do calor, então contentaram-se em descrever os percalços enfrentados na adaptação desse experimento histórico, sem a preocupação de validá-lo.

Alves [13] concentra seu trabalho para fins didático-pedagógicos na reprodução da experiência de Joule. A autora afirma que sua reprodutibilidade é inviável como implementação em sala de aula, mas elenca substitutos interessantes que visam encontrar a relação entre trabalho e calor por meio do princípio da equivalência [10]. Um desses substitutos é o tubo de cartão com esferas de chumbo munido de um termômetro digital. Ao realizar trabalho mecânico sobre o tubo com as esferas, fazendo as esferas despencarem sucessivamente de certa altura 50 vezes, a temperatura delas aumentava e, assim, sua energia interna também. O valor encontrado pela pesquisadora para o equivalente mecânico do calor, em uma série de três repetições, foi de 6,16 J/cal. Essa discrepância poderia ter sido maior se não tivessem ocorrido perdas de energia para o tubo e para o ambiente.

Outra experiência alternativa sugerida por Alves [13] é a plataforma elevatória que, basicamente, transforma

energia potencial de gravidade em aumento da energia térmica (energia interna) de certa massa de água contida em um calorímetro elétrico. Nesse aparato, a energia elétrica pertence à cadeia de transformações energéticas que vai abastecer o calorímetro. Esse aparato é mais sofisticado que o relatado acima, sendo composto por uma plataforma elevatória de metal acoplada a uma caixa redutora que, por meio de fios de conexões, alimenta uma resistência elétrica de um calorímetro com água, aumentando, assim, sua temperatura via calor. Lembrando o perfil demonstrativo do experimento e repetindo sua execução três vezes, o valor encontrado pela autora para a relação entre calor e trabalho foi de 6,81 J/cal.

As tentativas de reprodução do experimento de Joule narradas no presente artigo, sejam para fins investigativos como validar a relação entre caloria e joule, seja para fins didáticos, buscando explorar as diferentes modalidades de energia envolvidas em tais reproduções alternativas e simplificadas, demonstram a importância histórica do aparato construído pelo cientista inglês como aplicação do princípio da conversão de “forças”<sup>1</sup>, isto é, entre trabalho e calor. Essa experiência também foi objeto de estudo de uma sequência investigativa para aprendizagem significativa da relação entre calor e trabalho [14], da qual pretendemos descrever o caminho percorrido por nós para aprimorar um calorímetro elétrico, desde a obtenção de sua capacidade térmica até os valores encontrados para o equivalente mecânico do calor com o uso de seu análogo

elétrico.

## 2. Aprimorando o aparato

Nosso aparato consiste em um calorímetro elétrico com um vaso calorimétrico de capacidade igual a 195 mL, com uma resistência elétrica acoplada e um termômetro analógico com uma escala compreendida entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $110^{\circ}\text{C}$ , cabos de conexão, um multímetro e uma fonte AC/DC com voltagem máxima de 5 V e corrente elétrica de até 2 A, conforme mostra a Fig. 1. Um comentário importante a ser feito, antes de relatar os aprimoramentos realizados por nós, é a respeito dos roteiros experimentais que guiaram os ajustes do aparato. Os roteiros encontram-se pormenorizados para consulta no trabalho de Azevedo [14].

Primeiramente, buscamos encontrar um valor mais confiável para a capacidade térmica do calorímetro. Para tal, o calorímetro elétrico teve sua resistência removida e passou a ser um simples calorímetro de mistura, uma vez que, duas massas diferentes de água a temperaturas distintas foram misturadas. De fato, colocamos 70 mL de água no calorímetro e esperamos o equilíbrio térmico com o vaso calorimétrico, registrando uma temperatura inicial de  $27^{\circ}\text{C}$  com uma temperatura ambiente igual a  $28^{\circ}\text{C}$  e uma massa inicial de água aproximadamente de 70 g. Em seguida, adicionamos ao sistema água-calorímetro 100 mL de água, aquecida até atingir  $100^{\circ}\text{C}$ , e aguardamos um novo equilíbrio térmico para encontrar uma temperatura de aproximadamente  $63,1^{\circ}\text{C}$ . Considerando o valor tabelado do calor específico da água,

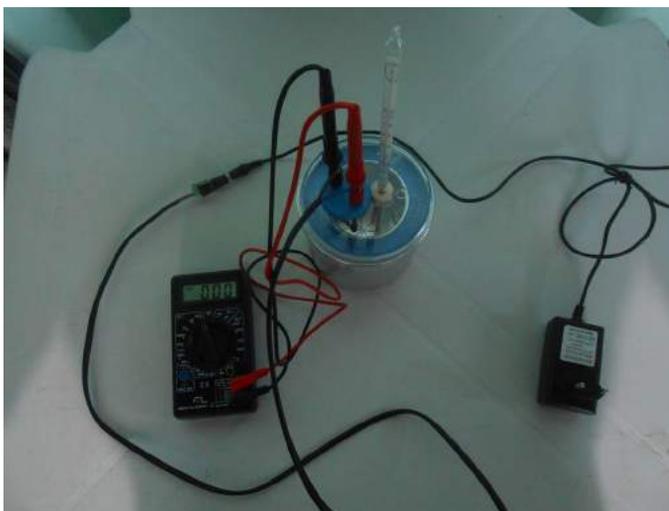


Figura 1 - Calorímetro associado em paralelo.

$c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ , e aplicando o princípio da conservação da energia (princípio das trocas de calor), a capacidade térmica do calorímetro foi de  $32,2 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ .

Reproduzimos várias vezes essa atividade experimental, elaborada e centrada na determinação da capacidade térmica do calorímetro seguindo os mesmos passos descritos anteriormente, sendo nossa maior preocupação encontrar a temperatura de equilíbrio térmico entre as massas de água e a massa do calorímetro. Para isso, era necessário aguardar um intervalo de tempo, entre 2 min e 5 min, até que a coluna de mercúrio do termômetro analógico se estabilizasse. Feito isso, encontramos, para a capacidade térmica do calorímetro, valores variando entre  $32,2 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ , já mencionado, e  $35,0 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ . Outros valores encontrados, a título de exemplos, foi  $32,8 \text{ cal}/^\circ\text{C}$  e  $34,0 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ , sempre considerando uma temperatura ambiente entre  $28^\circ\text{C}$  e  $29^\circ\text{C}$ . Definimos, então, que a capacidade térmica do calorímetro seria  $33,0 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ .

Encontrada a capacidade térmica do calorímetro, passamos a nos concentrar em valores mais consistentes para o equivalente mecânico do calor utilizando um calorímetro elétrico. O que queremos afirmar com valores consistentes para o equivalente mecânico do calor são medidas com uma maior proximidade do valor tabelado, sem o intuito de validá-lo. Nas primeiras experimentações, deixamos a resistência elétrica ligada durante intervalos de tempo que variaram entre 600 s e 1200 s. Paralelamente a esses intervalos de tempo, a temperatura de equilíbrio térmico entre a massa de água e o calorí-

metro era obtida alguns minutos após se desligar a fonte, tempo julgado por nós como necessário ao estabelecimento do equilíbrio térmico, utilizando-se, para tanto, do termômetro analógico. Para um calorímetro com uma capacidade térmica de aproximadamente  $33,0 \text{ cal}/^\circ\text{C}$ , os valores encontrados para o equivalente mecânico do calor, por meio de seu análogo elétrico, ficaram compreendidos entre  $6,145 \text{ J/cal}$  e  $8,194 \text{ J/cal}$ .

É muito importante mencionar que a fonte de alimentação que tínhamos adotado oscilou muito ao longo do experimento, tanto para uma associação em série, para encontrar a intensidade da corrente elétrica, como para uma associação em paralelo, para determinar a diferença de potencial nos terminais do resistor do calorímetro. A corrente variou entre  $1,25 \text{ A}$  e  $1,28 \text{ A}$ , enquanto a ddp oscilou de  $4 \text{ V}$  a  $5 \text{ V}$ . Para fins de cálculos, adotamos  $1,27 \text{ A}$ , para a intensidade da corrente elétrica, e  $4,5 \text{ V}$  para a ddp, os quais são, respectivamente, a média aritmética dos extremos da corrente elétrica e da tensão elétrica mencionados anteriormente. Outra coisa a ser dita, pelos resultados encontrados para o equivalente elétrico do calor, é que não houve incrementos significativos de energia da vizinhança para o calorímetro, pois as trocas de energia foram minimizadas ao máximo, contando com um bom isolamento do calorímetro que, internamente, é revestido por uma camisa de isopor e, externamente, tem paredes de alumínio polido, otimizando a reflexão da luz do meio externo. A Fig. 2 mostra uma associação em série entre a resis-

tência do calorímetro e o multímetro, no modo amperímetro, com a fonte AC/DC antiga, antes de sua substituição.

Nosso próximo passo era aumentar nosso rigor ao efetuar as medições, ou seja, ampliar a atenção na aferição da temperatura de equilíbrio térmico entre a massa de água e o vaso calorimétrico e ajustar a parte elétrica do circuito. Primeiramente, resolvemos substituir a fonte de alimentação por outra fonte chaveada AC/DC com tensão máxima de  $5 \text{ V}$ . A corrente continuou oscilando entre  $1,10 \text{ A}$  e  $1,18 \text{ A}$ , assim como a ddp nos terminais para qual, ao realizar as contas, adotamos um valor igual a  $4,5 \text{ V}$ . Para fazer as contas do equivalente elétrico do calor, resolvemos adotar  $1,14 \text{ A}$ , que é justamente a média dos valores anteriores. Definida a intensidade da corrente e a ddp, descobrimos que a capacidade do calorímetro, segundo as especificações do fabricante, estava errada, isto é, a capacidade máxima do calorímetro era de  $195 \text{ mL}$  e não de  $220 \text{ mL}$ . Em seguida, reduzimos o intervalo de tempo de acionamento da resistência para  $300 \text{ s}$ . Os resultados foram imediatos e encontramos um equivalente mecânico da caloria, pelo seu similar elétrico, entre  $3,882 \text{ J/cal}$  e  $4,500 \text{ J/cal}$ .

Esses valores são muito mais coerentes que os anteriores, uma vez que as perdas de energia para o meio ambiente foram minimizadas, muito embora haja, ainda, as perdas ôhmicas pelos fios de conexão do circuito elétrico. Além desses efeitos, não podemos ignorar a radiação vinda da vizinhança ou a emitida pelo calorímetro elétrico, que também afetam o resultado final do fator de conversão. Assim sendo, concluímos que esse experimento, o equivalente elétrico da caloria ou equivalente mecânico do calor pelo seu análogo elétrico, depois de todos os aperfeiçoamentos e dos resultados obtidos, estava em condições apropriadas para ser aplicado.

A seguir vamos tecer alguns comentários conclusivos a respeito de nosso trabalho nas melhorias efetuadas.

### 3. Conclusões

A proposta deste artigo era evidenciar as dificuldades inerentes à reconstrução do aparato de Joule e a necessidade, considerando a inviabilidade de sua reprodução fiel como recurso didático-pedagógico, de implementar aparatos mais simples, mas preservando o mesmo princípio físico que municia o equivalente mecânico do calor: o



Figura 2 - Resistência associada em série com multímetro.

princípio da conservação da energia [10]. Portanto, longe de validar o fator de conversão 4,186 J/cal, pretendíamos tornar aplicável nosso aparato para garantir resultados mais razoáveis e, simultaneamente, compreender as dificuldades que tais aparatos apresentavam quando utilizados em sala de aula. O processo de aprimoramento do calorímetro elétrico ampliou nosso entendimento dos obstáculos, subsidiando

intervenções mais qualificadas na aplicação de nossa sequência didática investigativa [14].

De fato, ao trilhar as dificuldades descritas anteriormente, aumentamos nossa visão a respeito dos obstáculos com os quais os estudantes iriam se deparar, sofisticando nossas intervenções durante a realização dos experimentos e, principalmente, incutindo nos educandos a cultura científica mais próxima

do que acontece nos laboratórios reais, nos quais o fazer ciência é sempre acompanhado de erro, empecilhos, divergências de resultados e conflitos de ideias e teorias, como relata a história da ciência [15, 16]. Por outro lado, nos livros textos a ciência é apresentada pronta e acabada, o que ajuda a fortalecer uma concepção de ciência equivocada, dogmática e distante da realidade [4, 7, 8].

## Referências

- [1] R.S. Souza, A.P.B. Silva e T.S. Araujo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **36**, 3 (2014).
- [2] M.A. Moreira, *Textos de Apoio ao Professor de Física* **9** (1998).
- [3] P. Hewitt, *Física Conceitual* (Editora Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed., p. 114-120.
- [4] A. Medeiros, *A Física na Escola* **10**, 1 (2009).
- [5] A.P.B. Silva, T.C.M. Forato e J.L.A.M. Gomes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 3 (2013).
- [6] W.P. Queirós, R. Nardi e D. Delizoicov, *Investigações em Ensino de Ciências* **19**, 1 (2014).
- [7] B.C. Carvalho e L.C. Gomes, *Investigações em Ensino de Ciências* **22**, 3 (2017).
- [8] A. Medeiros e F.N. Monteiro Jr., in: *Anais do III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências*, Atibaia, 2001, disponível em <http://abrapecnet.org.br/enpec/iii-enpec/o12.html>, acesso em 25/12/2018.
- [9] A.M.P. Carvalho e L.H. Sasseron, *Em Re-Vista* **22**, 2 (2015).
- [10] J.C. Passos, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 3 (2009).
- [11] R.A. Martins, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, **6** (1984).
- [12] R.S. Souza, *O Experimento de Joule e o Ensino de Termodinâmica Baseado na História da Ciência: Uma Proposta Didática*. Monografia, Universidade Estadual da Paraíba, 2012, p. 15-24.
- [13] P.P. Alves, *A Experiência de Joule Revisitada*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [14] J.S. Azevedo, *Equivalente Mecânico do Calor: Atividade Experimental Investigativa para Aprendizagem Significativa da Relação entre Calor e Trabalho*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.
- [15] T.S. Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas* (Editora Perspectiva, São Paulo, 2007), 9ª ed.
- [16] J. Valadares, in: *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*, editado por L.O.Q. Peduzzi, A.F.P. Martins e J.M.H. Ferreira (Editora da UFRN, Natal, 2012).

## Nota

<sup>1</sup>Segundo a Ref. [6], “força”, naquele período do século XIX, era entendida como energia, em seu conceito atual.



# Construção de um banco óptico para atividades experimentais no ensino de física em ambientes formais e não formais

.....

**Marcos Farina\***

Laboratório de Biomineralização,  
Instituto de Ciências Biomédicas,  
Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Erika Negreiros\***

Espaço Memorial Carlos Chagas Filho,  
Instituto de Biofísica Carlos Chagas  
Filho, Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Gabriella Mendes**

Espaço Memorial Carlos Chagas Filho,  
Instituto de Biofísica Carlos Chagas  
Filho, Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Eleonora Kurtenbach**

Laboratório de Biologia Molecular e  
Bioquímica de Proteínas, Instituto de  
Biofísica Carlos Chagas Filho,  
Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

## RESUMO

Neste artigo, propomos a construção de um banco óptico para a utilização em ambientes formais (escolas) e não formais (museus e espaços de divulgação científica), evidenciando conteúdos dos últimos anos do Ensino Fundamental e do Ensino Médio. Detalhes sobre a obtenção e a fabricação das peças e montagem do equipamento são fornecidos. O banco óptico produzido permite a formação de imagens por lentes convergentes e divergentes; espelhos; obtenção da distância focal de lentes, por diferentes métodos; a montagem de instrumentos de óptica, como o microscópio e o telescópio, além da demonstração de relações matemáticas elementares como semelhança de triângulos, razões e proporções etc. Grande parte dos esquemas e cálculos apresentados em livros didáticos sobre a óptica geométrica pode ser representada na prática, com o banco óptico. O equipamento/produto final

Autor de correspondência. E-mail: marcos.farina.souza@gmail.com.

apresentou estabilidade e reprodutibilidade na fabricação e na demonstração de fenômenos ópticos, além de baixo custo e facilidade de montagem, sendo os materiais utilizados de fácil obtenção no mercado.

**Palavras-chave:** óptica; banco óptico; ensino de física

.....

## 1. Introdução

Os aspectos experimentais das ciências físicas e da matemática são fundamentais para a consolidação de conceitos teóricos apresentados na sala de aula pelo professor. Nesse sentido, não apenas as demonstrações práticas são importantes, mas também desafios propostos aos alunos, baseados nos tópicos discutidos e demonstrados previamente.

Tem sido mostrado que a experimentação na disciplina de física é uma importante ferramenta para que os alunos possam enfrentar as dificuldades na assimilação de conteúdos, tornando a aprendizagem mais significativa, pelo estabelecimento de vínculos entre conceitos físicos e fenômenos naturais vivenciados [1, 2]. Portanto, o uso de atividades experimentais, de forma especial no Ensino Médio, pode ser considerado um caminho metodológico para a compreensão de conceitos e sua relação com as ideias discutidas em sala de aula [3].

A óptica apresenta grande potencial para este fim, pois já de início permite a aproximação entre a física e a geometria, na demonstração, por exemplo, da relação entre a dimensão do

objeto e da imagem por uma lente convergente ou em demonstrações sobre a dispersão da luz por um prisma. Se, por um lado, a análise da dispersão da luz ajuda o aluno a entender a origem do arco-íris e dos defeitos ou aberrações das lentes, por outro, combinações de diferentes lentes e suas posições relativas no banco óptico permitem ao aluno montar instrumentos importantes para a ciência, como o microscópio e o telescópio.

A literatura especializada apresenta diversas maneiras de construir um banco óptico. O equipamento é formado basicamente por um trilho sobre o qual deslizam lentes presas a suportes apropriados, de forma a gerar imagens com dimensões diversas e aspectos particulares, dependendo das distâncias relativas entre o objeto, lentes e anteparo, no caso de imagens reais, ou entre o objeto, lentes e o olho, no caso de imagens virtuais [4, 5]. Nesse segundo caso,

a lente do olho projeta uma imagem real na retina.

No presente artigo, propomos a construção de um modelo de banco óptico de baixo custo, para utilização em instituições de ensino formal e não

formal. As dimensões propostas permitem demonstrações para grande número de alunos/pessoas, usando lentes facilmente encontradas no comércio, como em papelarias ou via internet. O equipamento pode ser redimensionado para ambientes diversos em função da escolha das distâncias focais das lentes.

Utilizamos uma fonte de luz com lâmpada de halogênio, cujo filamento faz o papel do objeto, do qual são obtidas as imagens em um anteparo. Dessa

**Tem sido mostrado que a experimentação na disciplina de física é uma importante ferramenta para que os alunos possam enfrentar as dificuldades na assimilação de conteúdos, tornando a aprendizagem mais significativa**

forma, muitos fenômenos da óptica geométrica foram observados/obtidos com facilidade. Incluímos, como um exemplo de aplicação, a construção de modelos simples do olho, para demonstrar (com o objetivo de evidenciar) que a visualização de um objeto implica na formação de uma imagem real na retina.

Usamos os modelos para discutir “imagem virtual”, como no caso da observação da bula de um remédio com uma lupa, cujo objeto (bula) está mais próximo da lupa do que a distância focal da lente. Nesse caso, a primeira imagem obtida é virtual. A visualização da bula através da lupa só é possível devido à existência de uma segunda lente, que é a lente do olho, sem a qual não seria possível projetar uma imagem real na retina. A montagem de uma situação semelhante no banco óptico é decisiva para levar o aluno a compreender que isso ocorre, porque para essa segunda lente (a lente do olho), a primeira imagem (virtual) que agora será o objeto, está a uma distância maior do que sua distância focal, gerando uma imagem real no fundo do olho.

Com estes modelos também demonstramos os defeitos/imperfeições geométricas da visão, hipermetropia e miopia.

## 2. Visão geral do banco óptico e seus componentes

A Fig. 1 apresenta uma visão geral do banco óptico proposto e alguns de seus componentes. Em particular, estão indicados fonte luminosa com lâmpada de halogênio (nessa montagem, o filamento da lâmpada corresponde ao objeto), lente, suportes de madeira para adaptação dos tubos com as lentes, trilho sobre o qual deslizam os suportes, tela para observação de imagens reais projetadas. Na Fig. 1 aparecem dois trilhos de alumínio, com larguras de 5,0 cm e 7,5 cm. Sugerimos o uso de trilhos com 7,5 cm de largura (trilho mais inferior na figura), por permitirem maior estabilidade.

## 3. Materiais utilizados

Na Tabela 1 estão listados os materiais utilizados para confecção do banco óptico proposto neste artigo. Todas as partes citadas correspondem a materiais de baixo custo e de fácil

aquisição em mercados locais.

O trilho (“régua de pedreiro”), tubos de PVC, parafusos, massa epóxi, cola, fita adesiva reforçada de tecido, brocas chatas para furadeiras de bancada e broca normal para furadeira comum podem ser encontrados em lojas de materiais de construção; as peças de madeira, em marcenarias ou madeireiras; a fonte de luz com lâmpada de halogênio, em lojas especializadas em iluminação, e as lentes de aumento e telas de pintura, em papelarias.

## 4. Detalhamento das partes

A Fig. 2 mostra as peças que adaptam a lente ao suporte que desliza sobre o trilho, e suas denominações estão indicadas na Tabela 1. O suporte é composto da base retangular e das peças laterais (Figs. 2 e 3). As peças laterais são fixadas à base retangular com cola de madeira e reforçadas com pregos. Em uma das peças laterais, realiza-se um furo com broca chata de 5/16 in diâmetro, visando a produção de sulcos para introduzir o parafuso francês (Fig. 4). A rosca para o parafuso é produzida ao se forçar sua entrada no furo da peça de madeira, cujo diâmetro é ligeiramente

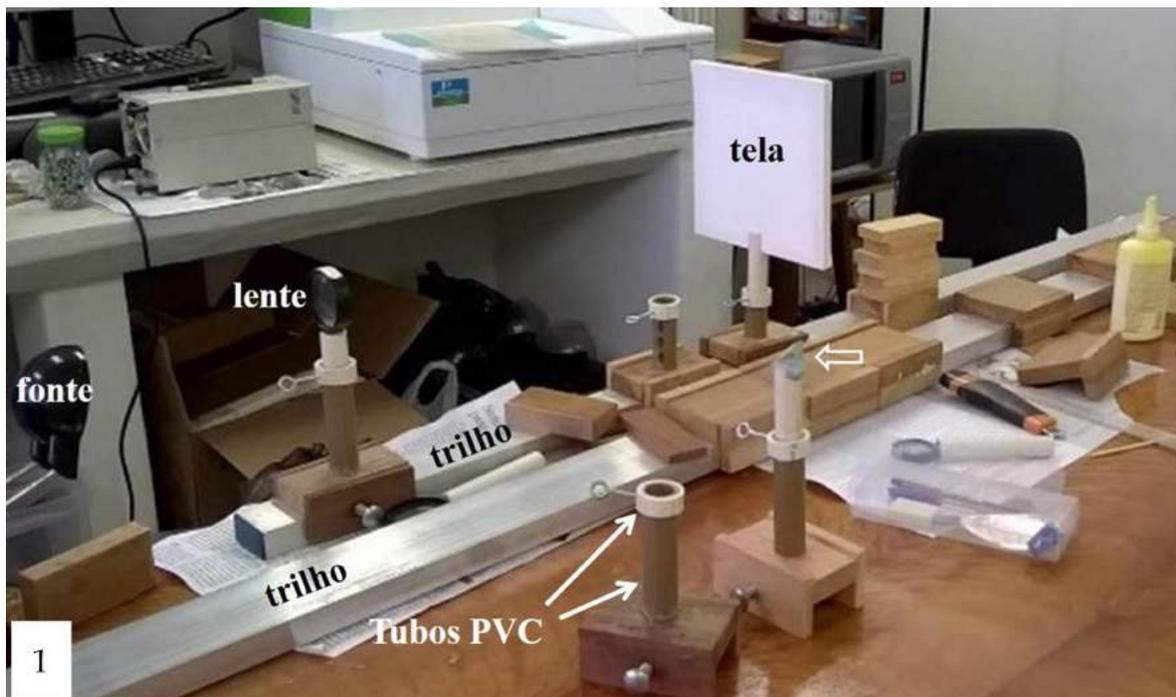


Figura 1 - Visão geral do banco óptico e de peças componentes, algumas ainda por montar, sobre mesa de trabalho. Em itálico estão destacadas as peças indicadas em detalhe, na Tabela 1 e na Fig. 2. Da esquerda para a direita: fonte com lâmpada de halogênio e feixe direcionado; trilhos para posicionamento e deslocamento das lentes sobre bases suportes; lente presa a tubo plástico (PVC branco – 2) que desliza sem folga no interior de outro tubo (PVC marrom); tubos PVC acoplados para alinhamento e fixação de lentes com parafuso pitão na direção vertical (setas brancas); tela para a projeção de imagens reais. A seta branca vazada indica uma peça de vidro usada como prisma para dispersão da luz. Outros acessórios, como espelhos, podem ser acoplados aos suportes para demonstrações de diversos fenômenos ópticos.

Tabela 1: Materiais utilizados na confecção do banco óptico de baixo custo. Nota: O símbolo “in” significa polegada, que equivale a 2,54 cm.

Material	Especificações
Fonte: Luminária de mesa ajustável	Lâmpada de halogênio 15 W ou 20 W, 127 V
Trilho de alumínio: Réguas de pedreiro	200 cm × 7,5 cm × 2,5 cm (comprimento × largura × altura)
Lentes biconvexas (usadas para gerar imagens reais e correção de hipermetropia)	Distância focal variando de 10 a 25 cm
Lentes côncavo-convexas (usadas para correção de miopia)	- 2,0 dioptrias (distância focal 50 cm)
Tela de projeção	20 cm × 20 cm
Tubo PVC branco - 1	Comprimento 2 cm; Diâmetro da abertura 25 mm
Tubo PVC marrom	Comprimento 12 cm; Diâmetro externo, 1 in, aprox. 25 mm; Diâmetro interno aprox. 21 mm
Tubo PVC branco - 2	Comprimento 11,5 cm; Diâmetro externo 21 mm
Massa epóxi	Durepox®
Cola	Araldite®
Cola de madeira	Cascorez®
Madeira: base retangular	11 cm × 7,5 cm × 2 cm (comprimento × largura × espessura)
Madeira: peças laterais	11 cm × 4,5 cm × 1 cm (comprimento × largura × espessura)
Parafusos	Parafuso pitão; Parafuso francês
Broca chata	1 in de diâmetro
Broca chata	(5/16) in
Broca comum	1/8 in
Fita adesiva reforçada de tecido	Rolo 48 mm × 5 m
Furadeiras	Furadeira manual; Furadeira vertical de bancada
Metro de madeira	2 m de comprimento

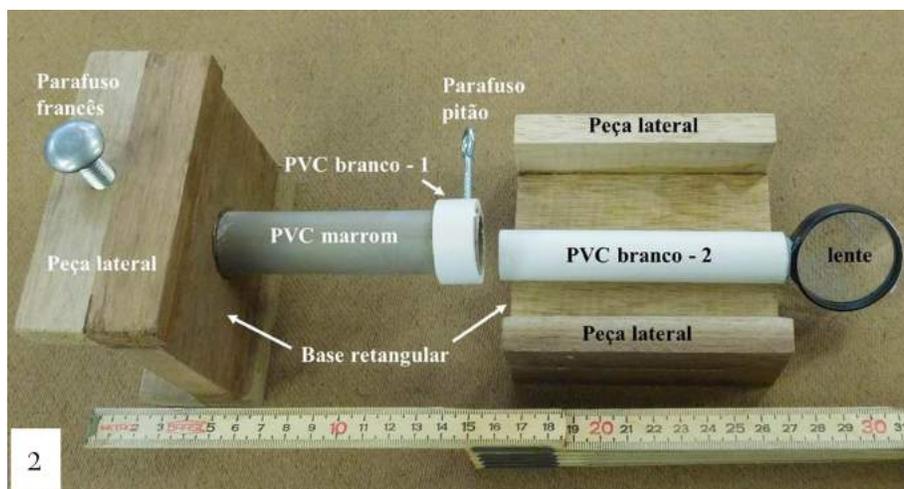


Figura 2 - Vista das partes componentes do suporte para deslocamento das lentes e acessórios do banco óptico, incluindo: *peça lateral*, *base retangular*, *tubo PVC marrom*, *tubo PVC branco - 1*, *tubo PVC branco - 2*, *lente*, *parafuso francês* e *parafuso pitão*. O metro de madeira na parte inferior da figura dá ideia das dimensões das peças. A denominação das peças em itálico é semelhante ao que está descrito na Tabela 1.

inferior ao do parafuso, o que deve ser realizado com auxílio de um alicate, devido ao alto torque necessário. Esse parafuso permite fixar o conjunto composto da *lente* e sua base de sustentação em uma posição específica no *trilho*. No centro da *base retangular* realiza-se um furo de uma polegada de diâmetro, usando *furadeira vertical de bancada*, com *broca chata* de mesma largura, onde deve ser inserido o *tubo de PVC marrom* (Figs. 2, 3 e 4). Na extremidade livre desse tubo, fixamos com *cola*

Araldite, externamente, o *tubo de PVC branco - 1*, visando produzir uma espessura de material apropriada para realizar o furo para o *parafuso pitão*, destinado a fixar o *tubo PVC branco - 2*, que fixa a *lente* na altura desejada. A *lente* é presa, introduzindo a haste da lupa original (ver lupa original na Fig. 7, objeto à esquerda na figura) no interior do *tubo PVC branco - 2* e preenchendo a região do tubo que contorna a haste com cimento de *massa epóxi*. Os dois tubos concêntricos permitem

ajuste do posicionamento vertical da *lente*, para alinhamento do eixo óptico com a altura da *fonte*. O conjunto de lentes é pré-centrado lateralmente, desde o momento em que se produz o furo circular de uma polegada.

## 5. Montagem e utilização do banco óptico

- O *trilho* de alumínio com comprimento de 2 m, seção transversal retangular (7,5 cm × 2,5 cm) deve ser preso a uma mesa (plana,

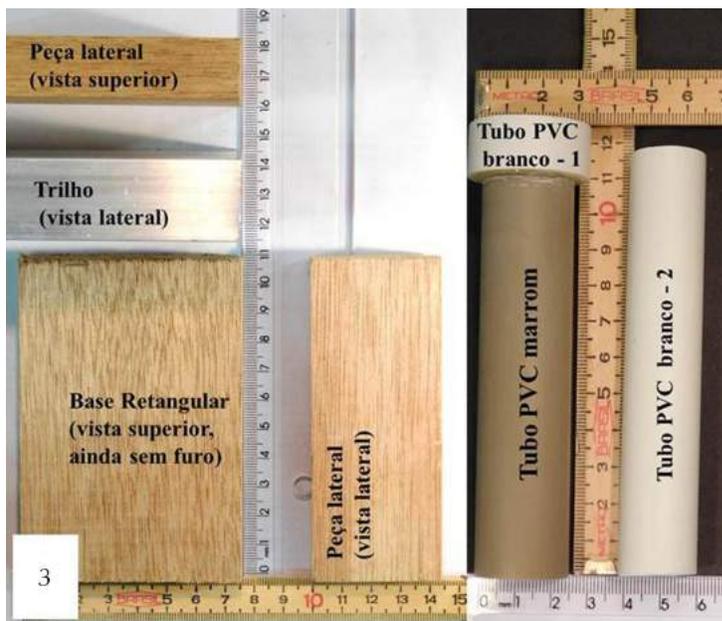


Figura 3 - Observação das peças componentes do suporte das lentes e acessórios, para deslocamento sobre o trilho, juntamente com escalas de referência.

estável, cujo comprimento exceda o comprimento do trilho) por suas extremidades, usando *fit*a adesiva reforçada de tecido, deixando um espaço livre na mesa, em uma das extremidades do *trilho*, para o posicionamento da *fonte* de luz.

- Após fixar o *trilho* à mesa, fixamos com a mesma *fit*a a *fonte* à mesa, na extremidade livre, de tal forma a permitir total aproveitamento do *trilho* para deslocamento das peças de madeira que sustentam as *lentes*.
- A *fonte* de luz e a *tela* de projeção da imagem devem ser posicionadas de tal forma que a distância do filamento à mesa seja semelhante à distância do centro da *tela* à mesa, para um melhor aproveitamento da área de projeção da imagem.
- Cada *lente* a ser utilizada deve ser ajustada no suporte e posicionada verticalmente de forma tal que projete uma imagem do filamento em um ponto próximo ao centro da *tela*. A posição desse ponto deve ser identificada/assinalada, para que todas as *lentes* a serem utilizadas projetem a imagem do filamento no mesmo ponto, pelo movimento do *tubo PVC branco - 2* e fixação com o parafuso *pitão*. Para confirmar que o feixe segue a direção do eixo óptico das *lentes*, na horizontal, deve-se aproximar e afastar a *tela* de projeção, mantendo-se a *fonte* fixa, e observar a imagem da *fonte* sobre a mesma. O centro dessa imagem (borrão

luminoso) não deve variar com o movimento da *tela*.

No modelo aqui apresentado, o filamento da *fonte* faz o papel do objeto. Portanto, as análises sobre tipo de imagem, posição relativa, orientação e aumento são feitas considerando o filamento como objeto, o qual se encontra numa das extremidades do *trilho*, oposta à extremidade onde se encontra a *tela* para projeção das imagens reais.

- A escolha das *lentes* deve levar em conta o comprimento do *trilho* (em nosso caso, 2 m). Se desejamos obter duas imagens reais em sequência, a óptica geométrica nos mostra que, para cada *lente*, com distâncias focais semelhantes de ambos os lados, a menor distância entre objeto e imagem real é de 4 vezes a distância focal. Isso significa que, se tivermos duas *lentes* convergentes com distâncias focais iguais a 10 cm, a menor distância entre o objeto (filamento, no nosso caso) e a segunda imagem, seria de  $4 \times 10 + 4 \times 10 = 80$  cm. Entretanto, deve-se buscar situações com maior possibilidade de amplificação das imagens, o que leva necessariamente a *trilhos* mais longos.

## 6. Modelo do olho

Montagens para observação de 1) imagem real (invertida) por uma lente convergente, 2) formação de duas imagens reais em sequência por duas lentes



Figura 4 - Visão lateral da peça suporte de lentes e acessórios, contendo parte do que está apresentado de forma individualizada na Fig. 3. Observam-se (de baixo para cima): *peça lateral*, *parafuso francês*, *base retangular*, *tubo PVC marrom*, *tubo PVC branco - 1*, *parafuso pitão*. À direita observam-se as duas *brocas chatas* utilizadas nesse trabalho com *furadeira vertical de bancada*. A broca da esquerda (1 in - uma polegada) é utilizada para furar a região central da base retangular, visando a adaptação do *tubo PVC marrom*; a da direita (5/16 in) é utilizada para realizar o furo para posterior formação da rosca para o *parafuso francês*, o que é realizado durante a inserção do parafuso, ao forçar sua rotação com um alicate. A denominação das peças em itálico é semelhante ao que está descrito na Tabela 1.

convergentes (imagem final duplamente invertida, equivalendo a duas rotações de 180 graus) e 3) formação de uma imagem real a partir de uma imagem virtual original (pela utilização de uma segunda lente) são sugeridas ao professor como início de trabalho com o banco óptico. Nesse último caso, ao aproximar o objeto da lente convergente a uma distância menor do que sua distância focal, não encontramos imagem focalizada no anteparo, pois os raios luminosos divergem ao atravessar a lente.

Define-se uma imagem virtual, como aquela formada pelo prolongamento dos raios que deixam a lente, no lado oposto ao do objeto. Levamos o aluno a verificar que, para obter uma imagem real do objeto no anteparo, a partir da condição original acima, necessitamos de uma segunda lente convergente. Ao obter a imagem real, o aluno percebe que o conjunto dessa segunda lente com o anteparo é equivalente ao nosso olho, ou seja, essa segunda lente e o anteparo são equivalentes à “lente do olho” e à “retina do

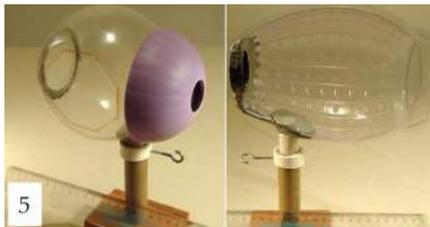


Figura 5 - Modelos de olho. À esquerda, “bambonière” de plástico com uma imitação da íris do olho (em roxo) localizada anteriormente à *lente* (não visível na imagem). O objeto roxo pode ser obtido em lojas de utensílios para cozinha e é composto de duas partes que se encaixam (aqui, apenas uma delas é mostrada). Um furo de uma polegada de diâmetro foi produzido com *broca chata*, na sua região central, para a passagem da luz. Na imagem da direita, observa-se outro modelo de olho, de plástico transparente, que corresponde à metade de um molde para confecção de ovos de Páscoa. Na região frontal (extremidade da esquerda) está adaptada a *lente*, usando *massa epóxi*. Nota: a distância focal da *lente* deve ser menor do que o comprimento do olho, para que se possa demonstrar a condição de miopia. A denominação das peças em itálico é semelhante ao que está descrito na [Tabela 1](#).

olho”.

Apresentamos na [Fig. 5](#) dois modelos de olho, que podem ser usados no banco óptico. Os modelos foram produzidos com materiais de fácil obtenção, como descrito na legenda da imagem.

Na [Fig. 6](#) apresentamos demonstrações dos defeitos geométricos da visão conhecidos como hipermetropia e miopia, usando um modelo de olho. Na figura da esquerda, vemos que a imagem do objeto, representado pelo filamento da lâmpada (não visível na figura), está em foco num plano mais distante da lente do olho do que a retina, como é o caso da hipermetropia. À direita, vemos que a imagem se forma num plano mais próximo da lente do olho do que a retina, como é o caso da miopia. Para a



Figura 6 - Modelo de olho adaptado ao tubo PVC branco – 2 e suporte móvel, para permitir ajuste na vertical e deslizamento sobre o *trilho*. Componentes: “bambonière” de plástico transparente de onde se removeu o fundo; *Lente* (equivalente à “lente do olho”) de vidro fixada na tampa com *massa epóxi*; retina do olho (seta dupla branca); anteparo de papel branco para observar a imagem. O objeto utilizado é o filamento da lâmpada de halogênio. Imagem à esquerda: condição de hipermetropia; imagem à direita: condição de miopia. Note que em ambas situações as imagens do objeto no anteparo são invertidas. Obs.: no presente caso, a distância focal da *lente* foi de cerca de 10 cm, que é menor do que a distância entre a *lente* e o fundo, o que permite realizar a condição de miopia. A denominação das peças em itálico é semelhante ao que está descrito na [Tabela 1](#).

correção da hipermetropia, usamos óculos com lentes convergentes (lentes com aro preto na [Fig. 7](#)), e para a correção da miopia, usamos óculos com lentes divergentes (lente na parte inferior na [Fig. 7](#)).

## 7. Considerações finais

Consideramos o banco óptico um instrumento ideal para a iniciação em ciência e a aproximação com a matemática elementar, que é o alicerce para conhecimentos mais profundos em muitas áreas. O cálculo da ampliação da imagem do objeto por uma lente convergente leva o aluno a relembrar imediatamente o tópico de semelhança de triângulos que aprendeu em matemática, além de iniciar o entendimento, mesmo que intuitivo, de escalas de comprimento na natureza ou em sua representação, como nos mapas, plantas de



Figura 7 - Lentes a serem utilizadas nos exemplos da [Fig. 6](#), equivalentes aos óculos, para corrigir os defeitos da visão. Para corrigir a hipermetropia: introduzir, entre o olho (lente frontal do modelo de olho da [Fig. 6](#)) e o objeto, a lente convergente (cabo e aro pretos); para corrigir miopia: introduzir, entre o olho (lente frontal do modelo de olho da [Fig. 6](#)) e o objeto, a lente divergente. O objeto, no caso da [Fig. 6](#), é o próprio filamento da lâmpada de halogênio. Lentes convergentes utilizadas para corrigir os defeitos da [Fig. 6](#): distância focal 20 cm; lente divergente: - 2,0 dioptrias, ou distância focal = 50 cm. Escala: o diâmetro da lente divergente (parte inferior da figura) é de 70 mm.

terrenos ou maquetes de um edifício. Além disso, o uso do banco óptico contribui para o entendimento de todos os instrumentos de óptica, fornecendo ao aluno os fundamentos necessários para esse fim. Esperamos estimular os alunos a desenvolver experiências para permitir momentos de reflexão, criatividade, cooperação, investigação e troca de ideias e contribuir para a aquisição de novos conhecimentos.

Este trabalho teve como objetivo principal descrever a montagem de um banco óptico e a fabricação das peças componentes. Sugestões objetivas de aplicações e desafios aos alunos usando o equipamento serão assunto de um trabalho futuro.

## Agradecimentos

Richard de Oliveira pela [figura 4](#), CNPq e FAPERJ por auxílios financeiros.

## Referências

- [1] M.S.T. Araújo, M.L.V.S. Abib, Revista Brasileira de Ensino de Física **25**, 176 (2003).
- [2] I. Higa, O.B.A. Oliveira, Educar em Revista **44**, 75 (2012).
- [3] E.M. Grasselli, *Os Desafios da Escola Pública Paranaense na Perspectiva do Professor PDE* (SEED, Curitiba, 2014).
- [4] E.S. Oliveira, I.S. Lima, G. Dutra, Física na Escola **13**(1), 10 (2012).
- [5] T.R. da Silva, Física na Escola **5**(1), 15 (2004).