

# Carta do Editor

**E**sta edição contempla o papel de minorias no desenvolvimento da ciência e da tecnologia por meio da divulgação do trabalho da cientista brasileira Marcia Barbosa e do inventor afrodescendente norte-americano Lewis Howard Latimer. A contribuição da física, premiada internacionalmente, ao estudo das anomalias da água com relevância para o ensino das ciências é destacada no artigo de Damásio e Raicik em que é proposta uma UEPS (unidade de ensino potencialmente significativa) para que os professores incluam essas discussões em sala de aula. Na comunidade de cientistas e inventores predominantemente branca, é fundamental ressaltar a atuação de personagens da estatura de L.H. Latimer, que patenteou, entre outros, um processo de carbonização de condutores com filamento de carbono na fabricação de lâmpadas. Os autores do artigo, Moraes e Santos, enfatizam a necessidade de demonstrar para alunos e alunas que não apenas o grupo demográfico constituído por homens brancos é capaz de desenvolver ciência e tecnologia.

Parece incrível, mas em pleno século XXI aberrações como a ideia da Terra Plana são ainda divulgadas nas redes sociais e no YouTube e, pasmem, despertam a curiosidade de muitos internautas. O nosso “destruidor de mitos” Fernando Lang conta um pouco do surgimento dessa concepção esdrúxula e apresenta evidências, com enfoque histórico, acerca da esfericidade da Terra para discussão em sala de aula.

A história da física encontra-se presente com a abordagem, feita por Raicik, Damásio e Angotti, dos estudos de Newton sobre luz e cores em livros de divulgação científica, bem como a importância das ilustrações e da narrativa dos experimentos no século

XVII, em especial a do *experimentum crucis*. Implicações ao ensino de ciências são discutidas.

A aproximação entre Ciência e Arte é explorada por Jorge e Peduzzi na apresentação de um módulo de ensino em que se analisam duas pinturas de Joseph Wright, de cunho científico (sistema solar e propriedades do ar), usando a linguagem da história em quadrinhos.

Relatos de experiências interessantes constam desta edição. Foram empregadas tecnologias digitais com ênfase na videoanálise e realizadas atividades lúdicas na quadra da escola no estudo do movimento circular.

Nosso comprometimento com o ensino de Física na modalidade da Educação de Jovens e Adultos (EJA) está explicitado neste número com o relato, por Negreiros Neto e Ferracioli, de demonstrações práticas e experimentos descritivos para serem realizados em sala de aula.

O conhecido foguete de garrafa PET ressurgiu na FnE com uma inovação proposta por Negreiros e Barros de Oliveira: o lançamento do foguete a partir de uma base automatizada, para garantir a segurança e a estabilidade do lançamento.

Sempre presente nas edições da FnE, o ensino de Astronomia é abordado por meio da proposta de construção de uma maquete tridimensional fosforescente de baixo custo que, segundo a autora do artigo, se diferencia das demais por ser independente de uma base.

Boa leitura.

Nelson Studart



# Sobre a forma da Terra

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

## Introdução

No dia 11/02/2016 foi realizada uma postagem, no sítio Pergunte ao Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF) do IF-UFRGS,<sup>1</sup> intitulada “Teste sobre a forma da Terra!”.<sup>2</sup> A chamada para a postagem encontra-se na Fig. 1 (na seção Resposta ao Teste indica-se qual é a melhor alternativa de resposta e argumenta-se sobre ela).

Como é de praxe, as postagens do Pergunte ao CREF são divulgadas em cerca de 30 comunidades de física do Facebook e, em algumas horas, costumam ocorrer dezenas ou até centenas de acessos à resposta. Entretanto, dessa vez houve milhares de acessos em poucas horas (em menos de um dia os contadores registraram quatro mil acessos somente nessa postagem) e diversas pessoas posteriormente comunicaram que o sítio emitia um aviso de estar sobrecarregado.

Há diversas postagens no Pergunte ao CREF, anteriores e posteriores a essa, com questionamentos sobre a forma da Terra (algumas serão indicadas neste artigo). Tratando-se de um tema recorrente - e de permanente interesse das pessoas -, é objetivo do artigo detalhar alguns aspectos históricos sobre o conhecimento da geometria de nosso planeta. Ao final, serão apresentados comentários sobre a anacrônica e esdrúxula concepção da Terra Plana que nos últimos anos assola as redes sociais e os vídeos do Youtube. Diversas evidências sobre a forma esférica da Terra serão apresentadas.

## A forma da Terra até o século XVI

Desde a Grécia Antiga - segundo, por exemplo, Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) e, anteriormente, Pitágoras (570 a.C.-495 a.C.) - sabe-se que a Terra é (quase) esférica, sendo também bem conhecido que no século III a.C. Eratóstenes (276

.....  
 Nosso conhecimento sobre a forma da Terra é uma conquista histórica que remonta à Antiguidade Clássica. Alguns aspectos dessa história são lembrados. Evidências sobre a esfericidade da Terra são discutidas em contraposição à esdrúxula e anacrônica concepção atual da Terra Plana.  
 .....

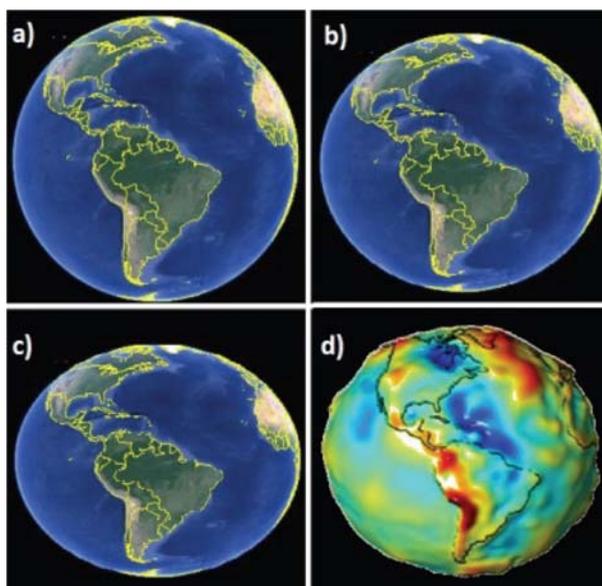


Figura 1: Qual das figuras melhor representa o formato da Terra?

a.C.-194 a.C.) fez a primeira determinação da circunferência da Terra. Quase um século depois, Posidônio (135 a.C.-51 a.C.), de maneira independente, usando em vez do Sol a estrela Canopus (uma supergigante branco-amarelada), obteve uma medida para a circunferência terrestre [1, 2].

Durante a Idade Média, mesmo antes de o aristotelismo ter sido assumido explicitamente na Igreja Católica por Tomás de Aquino (1225-1274), predominava a concepção da Terra como um globo entre os conhecedores das ideias gregas. O globo terrestre, encimado pela cruz na mão esquerda, representava o poder temporal do rei Carlos Magno (742-814) conforme se vê na Fig. 2.

O modelo da Terra redonda inspirou as grandes navegações acontecidas a partir do século XV, culminando com as descobertas da América em 1492 e do Brasil em 1500. A circum-navegação, a volta ao redor do globo terrestre, iniciada por Fernão de Magalhães (1480-1521) em 1519 (morto em batalha nas Filipinas durante a viagem), foi completada pelas naus em 1522.

A geometria da Terra era essencialmente a mesma, seja na velha concepção geocêntrica, seja na revolucionária concepção heliocêntrica que Copérnico reviveu no século XVI. A divergência entre ambas

as concepções estava em qual corpo seria estático, a Terra ou o Sol. Na Fig. 3 vemos a belíssima obra artístico-científica concebida em 1561 pelo matemático, cartógrafo e cosmólogo português Bartolomeu Velho (?-1568), indicando que naquela época já se conhecia com muita fidedignidade a geografia de nosso planeta. Essa obra representa a integração da cosmologia aristotélica com o cristianismo na versão tomista, sendo rica em detalhes quantitativos (sugere-se a inspeção da figura no arquivo em alta da resolução da Wikipedia). Vale destacar que nessa figura, entre tantas informações quantitativas, há para a circunferência da Terra o valor de 6300 léguas, o que equivale a aproximadamente 38 mil quilômetros. Jean François Fernel (1497-1558), em 1525, realizou a medida do arco do meridiano terrestre entre Paris e Amiens, cidades separadas por 1° de latitude sobre o mesmo meridiano, como sendo de 56.746 toesas.<sup>3</sup> Dessa medida obtém-se, multiplicando-se por 360 e lembrando-se que uma toesa corresponde a 1,95 m, que a circunferência terrestre em unidades atuais é aproximadamente 39,8 mil quilômetros.

**As grandes navegações foram inspiradas no modelo de Terra esférica; os geocentristas não tinham dúvidas sobre a esfericidade da Terra**

a forma da Terra foi levada a um alto grau de sofisticação quantitativa. Destacam-se, entre outros, os trabalhos teóricos e experimentais do abade Jean-Felix Picard (1620-1682), que em 1671 publicou um pequeno livro sobre a “Medida da Terra” onde apresenta para o comprimento de 1° do meridiano terrestre que passa por Paris (em unidade de medida atual) cerca de 110,5 km, daí decorrendo que a circunferência da Terra seria de aproximadamente 39,8 mil quilômetros [3].

A mecânica cartesiana foi uma teoria constituída sob a hipótese copernicana e pretendia dar suporte dinâmico à ideia revolucionária de Copérnico. Entretanto, Descartes (1596-1650) somente admitia “forças de contato”. A possibilidade de “forças de ação a distância” foi descartada por ele e pelos cartesianos que lhe sucederam.

Quando do advento da inovadora mecânica de Newton (1643-1727), os cartesianos julgaram a Lei da Gravitação Universal um “monstro metafísico”, por admitir que a força gravitacional entre dois corpos pontuais ou esféricos é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros [4]. A dinâmica dos corpos celestes, segundo Descartes, estava fundada sobre ser cada um deles um centro de vorticidade que arrastava os planetas (no caso do Sol e de outros centros espalhados pelo universo) ou os satélites (a Lua ou os satélites de Júpiter, por exemplo, moviam-se no vórtice do

### A forma da Terra nos séculos XVII e XVIII

No século XVII, com o advento da mecânica cartesiana e posteriormente com a mecânica newtoniana, a discussão sobre



Figura 2: Estátua de Carlos Magno segurando um globo, símbolo do seu poder temporal. (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charlemagne.jpg> - acessado em 10/03/2017).

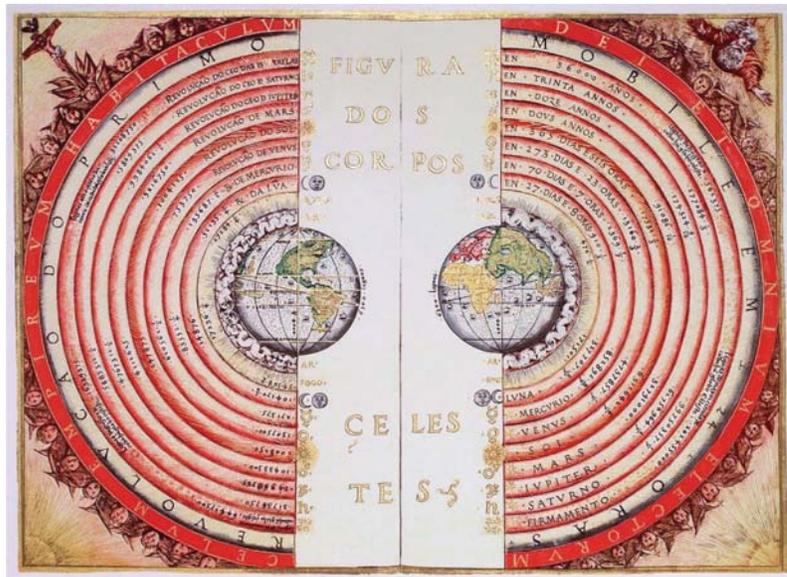


Figura 3: Figura dos corpos celestes - Ilustração do modelo geocêntrico do Universo. (Por Bartolomeu Velho, Domínio público - <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3672259> - acessado em 10/03/2017).

respectivo planeta).

A questão da forma da Terra tornou-se um tema de controvérsias entre os cientistas a partir do final do século XVII. Cristiaan Huygens (1629-1695) calculou que nosso planeta é um esferoide (elipsoide de revolução) oblato, isto é, que tem o seu diâmetro equatorial levemente maior do que o diâmetro polar, na razão de 578 para 577, respectivamente. Newton, no terceiro livro dos *Principia*, *O Sistema do Mundo*, prevê um achatamento um pouco maior do diâmetro polar em relação ao equatorial, na razão de 230 para 229. Já os cartesianos acreditam que a Terra é um esferoide prolato (Fig. 4), isto é, alongado segundo o seu diâmetro polar. Medidas efetuadas nas primeiras décadas do século XVIII por Jacques Cassini (1677-1756) e Giacomo Maraldi (1665-1729) pareciam corroborar o esferoide prolato cartesiano [3].

A Real Academia de Ciências da França era preponderantemente cartesiana nas duas primeiras décadas do século XVIII. Entretanto, havia físicos e filósofos franceses que aderiram às ideias newtonianas. O enciclopedista Voltaire (1694-1778), ao retornar para a França depois de três anos de permanência entre os ingleses (1726 a 1729), foi o grande divulgador da mecânica de Newton entre os leigos [5].

Em 1732 o físico Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) tomou abertamente a posição de Newton (que morreria em 1727) perante a Real Academia de Ciências da França, na defesa da Lei da Gravitação Universal - e consequentemente da forma da Terra como esferoide oblato -, propondo métodos astronômicos sofisticados (em seu livro *Discursos sobre*

*as Diversas Figuras dos Astros*) que poderiam ser usados em medidas do comprimento de  $1^\circ$  do meridiano terrestre [3]. Medições próximas ao equador e próximas ao polo norte poderiam finalmente decidir se a Terra era achatada ou alongada no seu eixo polar, conforme respectivamente newtonianos e cartesianos propunham.

A Fig. 5 é uma representação de um meridiano terrestre e dos comprimentos dos arcos que correspondem a um ângulo de  $1^\circ$  em duas regiões diferentes. É importante destacar que os centros de curvatura dos arcos não coincidem com o centro do esferoide. Além disso, os raios de curvatura desses pequenos arcos são diferentes e apresentam dimensões diversas dos semieixos do esferoide (isto é, dos raios polar e equatorial da Terra). A realização de tais medidas era possível graças aos métodos

astronômicos nas determinações dos ângulos de deslocamento sobre os meridianos e aos métodos topográficos nas medidas dos comprimentos dos arcos.

A Academia de Ciências da França, em 1735, financiada pelo rei Luís XV, decidiu enviar expedições à América do Sul e à Lapônia para, entre outras atividades científicas e expansionistas, medir o comprimento do arco correspondente ao ângulo de  $1^\circ$  do meridiano terrestre. Se tal medida resultasse em uma extensão maior na região polar do que na região equatorial, estaria corroborada a previsão newtoniana.

Em 1736, a expedição à Lapônia liderada por Maupertuis realizou uma das medidas, encontrando cerca de 500 toesas (quase 1 km) a mais do que o comprimento correspondente a  $1^\circ$  do meridiano

terrestre em Paris, corroborando assim a previsão newtoniana, embora ainda faltasse o resultado da outra expedição à América do Sul com medidas feitas nas proximidades do equador [6].

A expedição sul-americana, conduzida por Charles-Marie de La Condamine (1701-1774), somente retornou em 1745 [7]. As medidas feitas na proximidade de Quito no Equador (na época a região era conhecida como Peru) corroboraram a previsão newtoniana sobre o achatamento do eixo polar, resultando em que o raio polar (semieixo polar do esferoide) fosse 33 km inferior ao raio equatorial (semieixo equatorial). Newton previu uma diferença de 26 km entre as duas medidas. Hoje sabemos que a diferença é de 21 km. Portanto, desde o século XVIII as medidas geodésicas francesas confirmam que a Terra é achatada no seu eixo polar em relação ao equatorial.

### Sobre a forma da Terra na atualidade

A Terra é muito aproximadamente um esferoide oblato, mais precisamente um elipsoide de rotação cujo semieixo (ou raio) polar difere muito pouco do semieixo equatorial. As diversas medidas subsequentes às das expedições geodésicas francesas entre 1736 e 1745 reduziram as incertezas sobre as dimensões deste elipsoide, agora chamado elipsoide de referência (ER). Atualmente sabe-se que o raio polar mede 6.356,7519 km e o raio equatorial 6.378,1366 km [8].

A ideia de criar uma figura que melhor representasse a Terra foi introduzida por Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Gauss definiu uma superfície de potencial gravitacional efetivo (potencial que inclui, além do próprio potencial gravitacional, o potencial centrífugo devido à rotação do planeta) constante que passa pela superfície média dos oceanos (isto é, a superfície das águas oceânicas não perturbadas). Essa figura, que acabou sendo chamada de geóide, teria um interesse teórico e prático maior do que o esferoide oblato (por exemplo, as altitudes do relevo terrestre seriam referidas ao geóide).

Um fio de prumo tem a importante propriedade de se orientar perpendicularmente ao geóide em qualquer ponto de sua superfície. A Fig. 6 é uma representação esquemática para diferenciar o geóide do ER, indicando também a coincidência do geóide com o nível não perturbado dos oceanos e a importante propriedade de que os fios de prumo (orientados na direção do campo efetivo, isto é, da composição do campo gravitacional com

**A forma de esferoide levemente achatado para Terra estava bem estabelecida no século XVIII**

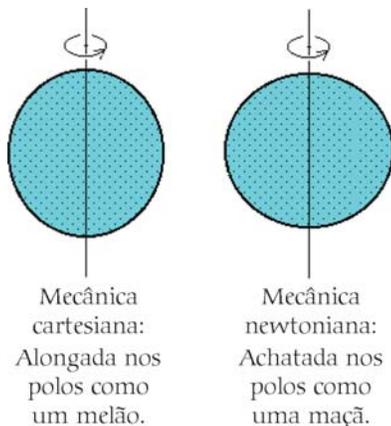


Figura 4: A Terra é um esferoide prolato para os cartesianos e oblato para os newtonianos.

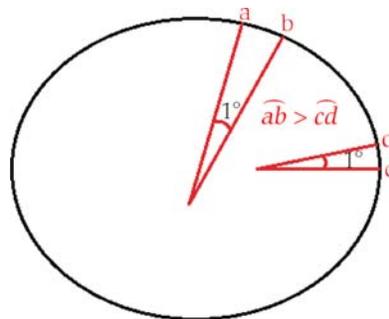


Figura 5: Representação de como medidas do comprimento de  $1^\circ$  do meridiano terrestre realizáveis na Lapônia e no Peru esclareceriam se o achatamento do esferoide concorda com a previsão newtoniana ou cartesiana.

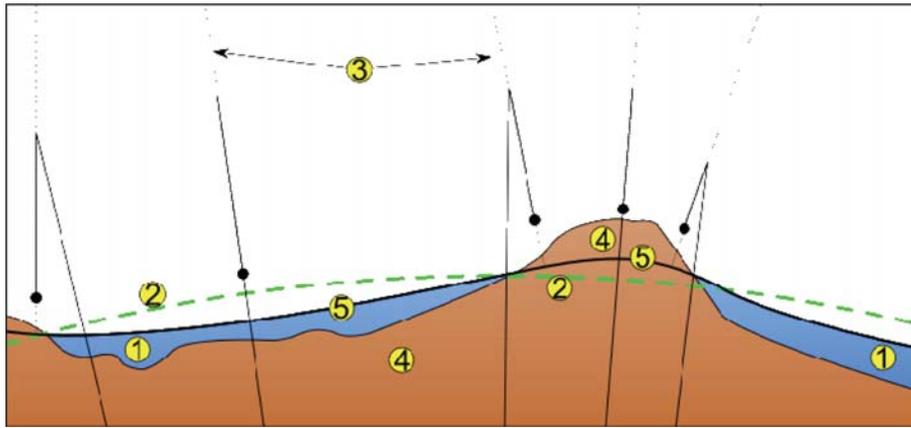


Figura 6: Representação esquemática (1) da superfície do oceano, (2) da superfície do ER, (3) de fios de prumo locais (4) do continente (5) do geóide. Autoria de MesserWoland - CC BY-SA 3.0. Disponível em <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1230159> (acesso em 18/03/2017).

o campo não inercial centrífugo) são perpendiculares ao geóide.

A diferença entre o geóide e o ER não ultrapassa 107 m, conforme representa a Fig. 7. Portanto, essa diferença perfaz no máximo 0,02% do raio polar ou equatorial do ER.

### Resposta ao teste sobre a forma da Terra

Na verdade, com exceção da alternativa “a”, que é aceitável, as demais opções do teste apresentado na introdução deste artigo são impróprias, por exagerarem nas deformidades da Terra.

O achatamento da Terra é muito pequeno. Essa foi a previsão teórica de Newton, corroborada espetacularmente após sua morte pelas expedições geodésicas francesas do século XVIII anteriormente referidas. As medidas atuais levam a uma diferença de 21 km entre o raio equatorial e o raio polar. Tal diferença representa apenas uma parte em 300 ou 0,3% do raio equatorial (ou do raio polar) da Terra.

A opção “a” apresenta uma figura que tem 93 pixels de extensão para o raio equatorial. O raio polar deveria então ter 92,7 pixels para que a representação

conservasse a verdadeira proporção entre ambas dimensões. Por razões óbvias, tal é impossível de ser representado com essa quantidade de pixels! Ou seja, nessa escala em que a figura da Terra se encontra na alternativa “a”, os dois raios são iguais. Daí decorre que as opções “b” e “c” são más representações em escala da real forma da Terra, já que apresentam um notável achatamento polar.

Coincidentemente, as irregularidades no relevo da Terra, tomando como extremos o topo do Everest e o fundo da fossa oceânica das Marianas, resultam também em cerca de 20 km. Essa diferença é muito semelhante à discrepância entre os raios polar e equatorial da Terra, levando a que a figura “d” seja, portanto, uma péssima representação em escala da real forma da Terra. Entretanto, essa última figura está disseminada equivocadamente em muitos sítios da internet para representar a forma da Terra. A imagem apresentada na alternativa “d” foi retirada de uma figura que exprime as pequeníssimas anomalias do campo gravitacional da Terra sobre o geóide (Fig. 8). Nessa figura, as deformações do geóide indicam variações na aceleração da gravidade [9]. A abreviatura gal identifica uma unidade de medida gravimétrica (o galileu) que homenageia Galileu Galilei e que vale  $1 \text{ cm/s}^2$ . É importante destacar que as anomalias representam no máximo 0,05 galileus em cerca de mil galileus (que é aproximadamente o valor padrão da aceleração da gravidade), portanto não mais de 0,005% do valor padrão.

A célebre imagem da Terra vista do espaço, obtida em 1972 (Fig. 9), reproduz com precisão tudo o que já era sabido sobre a forma da Terra desde Newton. Ou seja, conforme a foto mostra, nosso planeta é praticamente uma esfera.

Finalmente, é importante esclarecer, para fins de comparação, que os objetos de formato globular que conhecemos no nosso cotidiano (bolas, balões etc.) afastam-se proporcionalmente mais de uma esfera, seja por achatamento ou por irregularidades em sua superfície, do que o nosso planeta. Por exemplo, as irregularidades toleradas pela FIFA nas bolas de futebol perfazem até 1% do raio médio da bola.

### Sobre a anacrônica Terra plana

Nesses últimos tempos a internet tem difundido uma “nova” e “revolucionária” concepção sobre a forma da Terra: a Terra Plana. Na verdade, essa concepção está associada com outras ideias em conflito com o conhecimento científico atual. Afirma-se por exemplo que: a gravidade

Desvio do geóide em relação a uma figura idealizada sobre a forma da Terra (diferença entre o geóide EGM96 e o elipsoide de referência WGS84)

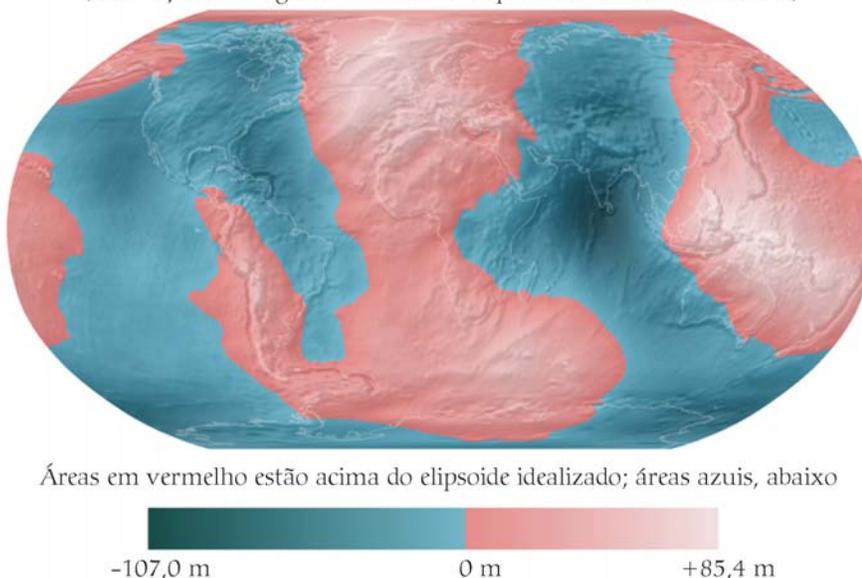


Figura 7: Diferença entre o geóide e o elipsoide de referência. Autoria de <http://en.wikipedia.org/wiki/User:Citynoise> - [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geoid\\_height\\_red\\_blue.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Geoid_height_red_blue.png), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17487818> (acessado em 19/03/2017).

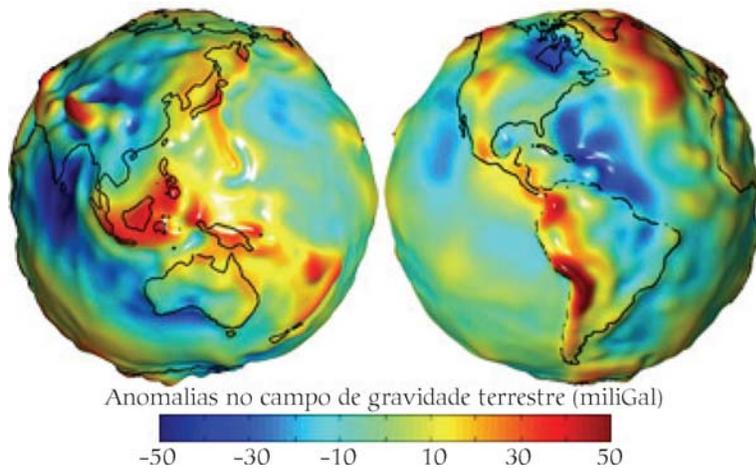


Figura 8: Representação das anomalias gravitacionais detectadas pela missão GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) da NASA. Domínio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=479365> (acessado em 10/03/2017).

inexiste, a Lua é auto iluminada, o Sol e os demais astros não se encontram a mais de alguns milhares de quilômetros de nós, o Sol e a Lua descrevem órbitas paralelas à superfície da Terra, as viagens espaciais são impossíveis. Nega-se a ida do homem à Lua e a existência de satélites artificiais. Afirma-se o geocentrismo antropocêntrico e o criacionismo fixista dos 6 mil anos (tudo teria sido criado como é hoje há cerca de 6 mil anos).

A ressurreição - já no século XIX - da anacrônica concepção da Terra Plana, concepção esta que vigia em épocas remotas nas sociedades pré-científicas (na China ela vigorou até o século XVII), é devida a Samuel Rowbotham (1816-1885). Em seu livro de 1865, escrito sob o pseudôni-

mo de Parallax, intitulado *Astronomia Zetética: A Terra não é um Globo!* [10], ele desenvolve a concepção da Terra Plana, apresentando pretensos resultados experimentais que a comprovam. O vínculo dessas ideias com um tipo de fundamentalismo religioso cristão está evidente na Fig. 10, uma representação de 1897 do terraplanista Orlando Ferguson. Na parte inferior da figura há um texto cujo título é "Escrituras condenam a teoria do globo", seguida de diversas citações bíblicas.

### Antigas evidências sobre a esfericidade da Terra

Entre as evidências sobre a esfericidade da Terra, já referidas por Aristóteles na Grécia Antiga, encontra-se a sombra



Figura 9: Autoria da equipe técnica da NASA/Apollo 17; tomada por Harrison Schmitt ou Ron Evans. Domínio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43894484>.

curva da Terra na superfície lunar durante um eclipse lunar e o fato de que o aspecto do céu se modifica conforme o observador se encontra em diferentes latitudes: estrelas diferentes podem ser observadas em latitudes diversas. A determinação por Posidônio da circunferência da Terra (já mencionada neste artigo) baseou-se em que na ilha de Rodas, no mar Egeu, a estrela Canopus pode ser vista somente muito próxima ao horizonte (ela não é visível mais ao norte na Grécia), enquanto que ao sul (por exemplo, em Alexandria) a sua elevação máxima no céu é maior. No hemisfério sul é bem conhecida a constelação do Cruzeiro do Sul, invisível para habitantes do hemisfério norte em latitudes superiores a  $+25^\circ$ . Já a estrela Polar, usada no hemisfério norte para orientação (função que aqui pode ser desempenhada pelo Cruzeiro do Sul) não é visível para nós. Como justificar a mudança dos céus conforme muda a latitude em um modelo de Terra plana?

A posição do Sol ao meio dia está relacionada diretamente à latitude, fato este usado por Eratóstenes em sua determinação da circunferência da Terra. A concepção terraplanista de que o Sol se move sempre sobre a face da Terra Plana implica em que não deveria existir noite, já que o Sol permaneceria sempre acima do horizonte (vide Fig. 10).

Outra evidência notável sobre a esfericidade da Terra, apresentada também por Aristóteles, diz respeito ao fato de navios afastados de um observador no oceano apresentarem-se como "afundados", parcialmente encobertos pelo horizonte.

Um navio afastado o suficiente de um observador pode estar além do horizonte visual desse observador. Se tal acontecer, parte do navio encontra-se abaixo da linha do horizonte do observador e a extensão dessa parcela oculta depende do afastamento do navio para trás do horizonte, podendo até ser completamente oculto abaixo do horizonte.

Admitindo-se que não haja relevo na superfície da Terra até o horizonte e que a luz se propaga em linha reta, desprezando-se portanto possíveis efeitos de refração da luz, pode-se estimar a distância a que o horizonte é percebido por um observador. A Fig. 11 indica que a distância  $D$  ao horizonte depende da altura  $H$  da visada e do raio  $R$  da Terra.

É importante destacar que a refração da luz, quando o ar se encontra aquecido em relação às águas de oceanos, mares, lagos e canais pode determinar que objetos normalmente invisíveis devido à curvatura da Terra sejam percebidos, levando à

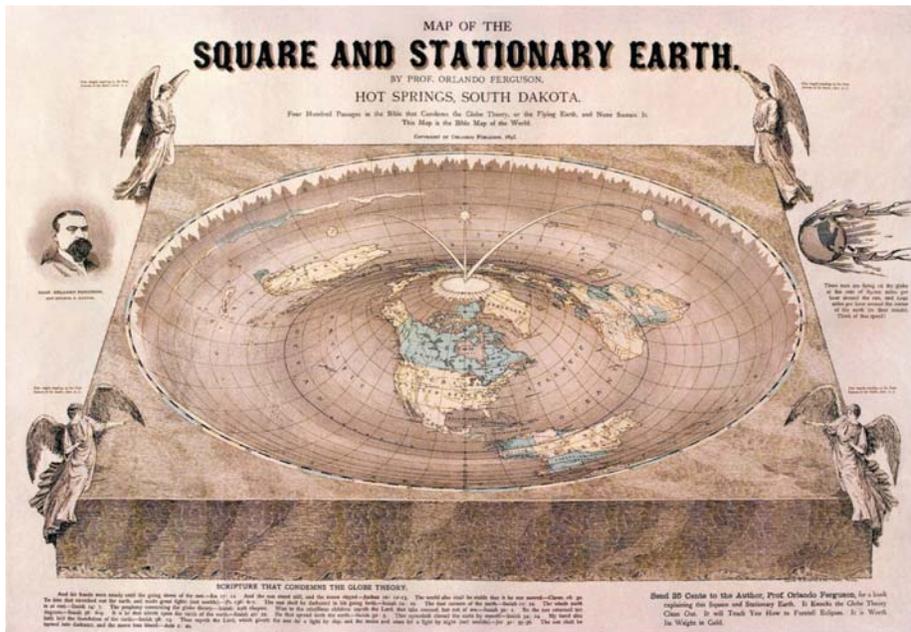


Figura 10: O mapa da Terra Plana na versão anacrônica e fundamentalista religiosa de 1897. Autoria de Orlando Ferguson. The History Blog, atualmente Library of Congress 2011594831, G3201.A67 1893 .F4, Domínio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15853213>.

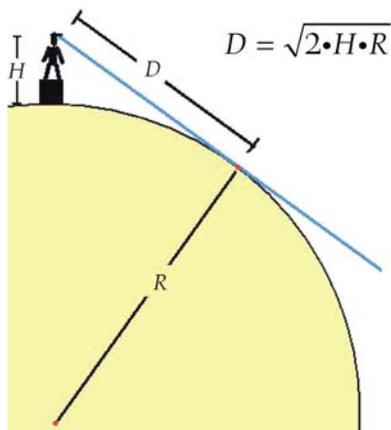


Figura 11: A distância ao horizonte ( $D$ ) depende da altura da visada ( $H$ ) e do raio da Terra.

interpretação errônea de que a curvatura seja inexistente ou até que a superfície da Terra seja côncava ao invés de convexa. No caso de o ar ser mais frio do que as águas, objetos normalmente visíveis podem se tornar invisíveis, também induzindo a erro de que a curvatura da Terra seja mais acentuada do que realmente é [11].

É simples imaginar que um objeto atrás do horizonte terá uma parte menor ou maior encoberta, podendo estar completamente oculto para um dado observador. A distância ao horizonte é facilmente estimável. Como o raio da Terra é aproximadamente 6370 km ( $R = 6,37 \times 10^6$  m), obtém-se que a distância ao horizonte, quando a visada se encontra a dois

metros ( $H = 2,0$  m) do solo, é  $5,04 \times 10^3$  m ou 5 km aproximadamente. Para um observador no topo de uma torre com 20 m de altura, o horizonte encontra-se a 16 km de distância.

O professor Rubem Erichsen (IF-UFRGS), estando à beira-mar em Torres, litoral do RS, observou um navio “afundado”, isto é, um navio passando atrás do horizonte. Com um binóculo, improvisou um sistema óptico para que sua câmara digital registrasse a passagem da embarcação. A foto por ele captada é apresentada na Fig. 12 à esquerda, percebendo-se apenas a parte alta do navio, com o restante oculto atrás do horizonte. O autor do presente artigo conseguiu uma imagem completa do navio na internet e, editando a foto, adicionou-a à direita.

Na imagem da Fig. 12, uma fração



Figura 12: Navio passando atrás do horizonte de um observador na praia de Torres (RS) e a imagem do navio colada sobre a fotografia original.

de cerca de dois terços do navio não é observável. Como a visada do professor Rubem era elevada, alguns andares acima do nível do mar (cerca de 20 m acima da praia), estima-se que o navio passava distante algumas dezenas de quilômetros, sendo pois completamente invisível para um observador no nível da praia. Uma visada da altura de 20 m sobre o nível do mar coloca o horizonte a 16 km de distância do observador, de acordo com a equação apresentada na Fig. 11.

Um excelente calculador sobre a curvatura da Terra está disponível no *Earth Curve Calculator*.

A esfericidade da Terra implica que quanto mais alto é o ponto de observação, tanto mais distante se encontra o horizonte (tal decorre da equação apresentada na Fig. 11). Se a Terra fosse plana, as observações ao nível do mar ou elevadas sobre ele permitiriam avistar objetos distantes da mesma forma. Os antigos navios, por exemplo as caravelas, se valiam de marujos (os gageiros) situados bem acima do tombadilho da nau – encarapitados na cesta da gávea no topo dos mastros – para a observação, mesmo com mar calmo, do que não se percebia em níveis inferiores. O escritor luso Almeida Garrett (1799–1854), no seu famoso poema *Nau Catrineta*, bem expressa a ansiedade do capitão exortando o marujo a subir mais alto para enxergar mais longe:

*Acima, acima, gageiro, Acima  
ao tope real! Olha se enxergas  
Espanha, Areias de Portugal!  
Alvíssaras, capitão, Meu capi-  
tão general! Já vejo terras de  
Espanha, Areias de Portugal!*

Na beira do mar, caso exista alguma elevação, é fácil verificar que o horizonte se afasta à medida que o observador sobe. À beira-mar em Tramandaí (RS) foram obtidas as fotos da Fig. 13. A foto superior foi tirada na praia junto ao mar, a cerca de 1 m acima do nível da água. O

horizonte então situa-se a aproximadamente 3 km da costa, de acordo com a equação apresentada na Fig. 11. Nota-se que a linha do horizonte é praticamente coincidente com a linha da água no casco do petroleiro.

A foto inferior na Fig. 13 foi feita do topo de uma duna próxima ao mar, cerca de 5 m acima do nível do mar. O horizonte recuou agora para cerca de 8 km da câmara fotográfica, percebendo-se nessa segunda foto que o mesmo navio se encontra antes do horizonte.

### As observações da Lua em diferentes partes do planeta evidenciam a esfericidade da Terra

A aparência da Lua em um particular momento do seu ciclo de 29,5 dias é diferente em diferentes regiões da Terra. Um excelente sítio sobre a Lua é o MoonConnection.com e lá se pode ver dia a dia, ao longo de um mês de livre escolha do usuário, a aparência aproximada da Lua no hemisfério de interesse. A troca de um hemisfério para outro produz diferentes imagens da Lua, caracterizando assim que a aparência ou fase de nosso satélite depende da posição do observador na Terra.

Observadores da Lua, em locais diferentes do planeta no mesmo dia (ou até no mesmo momento), constatarão que a aparência da Lua é diferente no sistema de referência de cada um deles. Tal acontece como consequência de a vertical mudar com a latitude e a longitude do observador na Terra.

A Fig. 14 apresenta a Lua crescente de agosto de 2016 fotografada pelo professor Adriano Barcellos (IFSUL) em Torres no RS e por seu amigo Daniel Varella Salvador em Roma, na Itália. Conforme a expectativa baseada na esfericidade da Terra e consequente rotação da vertical de um local para o outro (as duas cidades diferem tanto em latitude como em longitude em cerca de  $70^\circ$ ), o crescente nos dois locais se apresenta com diferença de aproximadamente  $90^\circ$ .

Um caso muito interessante, documentado amplamente na internet com vídeos realizados em variados locais da Terra, é o da Lua cheia.

Em 11 de fevereiro de 2017, possivelmente motivados por um eclipse lunar penumbral, diversas pessoas postaram vídeos da Lua cheia realizados em distintas partes do globo. Como é bem sabido, o nascente da Lua cheia ocorre próximo ao final do dia (em torno das 6 h da tarde) e ela permanece visível até momentos próximos do nascente solar, cerca de doze horas depois. Em localidades (quase)



Figura 13: O horizonte afasta-se do observador quando a altura da visada aumenta.

diametralmente opostas no globo é possível a observação da Lua cheia (quase) simultaneamente apenas nessa fase lunar. As observações (quase) simultâneas podem então se dar ao entardecer em uma localidade e na outra ao amanhecer, já que os fusos horários em ambas diferem em meio dia e Lua está baixa no céu nesses

momentos.

A Fig. 15 representa dois antípodas, o Tanaka e o João, observando simultaneamente um objeto celeste que, para fins de entendimento, apresenta um sistema de eixos ortogonais (em azul e em vermelho). O Tanaka e o João encontram-se de costas nesta representação; portanto,



Figura 14: Lua crescente em agosto de 2016 em Roma (Itália) e Torres (RS).

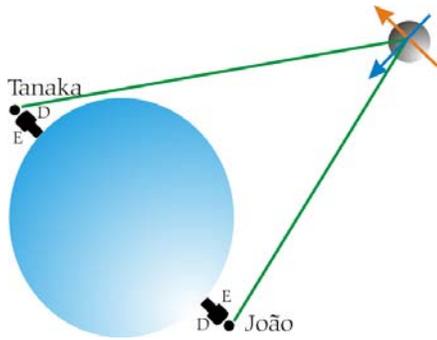


Figura 15: Quando os antípodas observam o mesmo objeto celeste, as imagens percebidas diferem por uma rotação de 180°.

transita-se de um dos antípodas para o outro mediante uma rotação de 180°. O eixo vermelho no objeto celeste tem a orientação da vertical para cima para o Tanaka e a orientação da vertical para baixo para o João. Já o eixo azul aponta da direita (D) para a esquerda (E) do Tanaka e da esquerda para a direita do João. Portanto se os dois observam o mesmo objeto celeste, eles o enxergarão de maneira diversa, isto é, com uma rotação de 180° de um para o outro.

A Fig. 16 apresenta duas imagens retiradas de vídeos do Youtube, mostrando a Lua cheia de 11 de fevereiro no Rio de Janeiro e no Japão, portanto em localidades quase diametralmente opostas. As setas igualmente coloridas indicam estruturas idênticas na face do satélite. Percebe-se que as duas imagens diferem por uma rotação de cerca de 180°.

A observação da Lua em outras fases não é possível de ser realizada simultaneamente em regiões antípodas. Entretanto, na Terra Plana a Lua deveria estar visível de todos os locais da superfície terrestre simultaneamente em qualquer momento, pois a Lua (e o Sol) descrevem órbitas

paralelas à superfície.

### As atuais tecnologias de telecomunicações evidenciam a esfericidade da Terra

A curvatura da Terra é levada em conta nas modernas tecnologias de telecomunicações por ondas eletromagnéticas. O alcance das transmissões usando a faixa de FM está limitado ao horizonte geométrico da antena emissora, justificando-se assim que quanto mais alto estiver o transmissor, maior será a abrangência da emissora [12].

As onipresentes telecomunicações por micro-ondas também possuem alcance limitado - mesmo em terreno horizontal plano - pelo horizonte geométrico (ou um pouco mais, cerca de 30% a mais, graças aos efeitos de refração). É usual no nosso cotidiano a existência de torres de transmissão e recepção de micro-ondas, com antenas em níveis diversos, apontando em variadas direções, a fim de captar e enviar ondas eletromagnéticas para outras torres e equipamentos, caracterizando a chamada transmissão ponto-a-ponto.

Todas as telecomunicações via satélite obviamente consideram a curvatura da Terra. Atualmente existem mais de dois mil satélites de telecomunicações em variadas órbitas, desde as órbitas baixas (entre 160 km e 2000 km de altitude) até as órbitas mais distantes como as geostacionárias (a cerca de 36 mil km de altitude ou 42 mil km do centro da Terra).

A tecnologia envolvida no sistema GPS (Sistema de Posicionamento Global) somente funciona em uma Terra esférica e é dependente de satélites em órbitas múltiplas a cerca de 20 mil km de altitude. Os períodos orbitais desses satélites são diferentes do período de rotação da Terra e também suas órbitas estão contidas em planos variados, determinando que eles

se movam em relação a um sistema de referência fixo no globo terrestre.

As antenas parabólicas receptoras de sinais via satélites geostacionários ou geossíncronos, existentes mundo afora e percebidas no nosso cotidiano, atestam indubitavelmente que a Terra é esférica, conforme se exemplifica a seguir.

Existem algumas centenas de satélites geossíncronos distribuídos em um cinturão no plano equatorial da Terra, distante cerca de 36 mil quilômetros da superfície do planeta, estacionados em longitudes específicas, isto é, sobre os meridianos terrestres. De acordo com a lista disponível na Wikipedia, eles são identificados por meio de um código que começa com a longitude na qual se encontram. A captação dos sinais eletromagnéticos no receptor LNB (Low Noise Block) de uma determinada antena parabólica é possível se a antena for orientada de modo conveniente. A orientação da antena depende de sua localização na superfície da Terra, identificada pela latitude e pela longitude, e do posicionamento do satélite transmissor dos sinais de interesse.

Em um lugar específico do planeta usualmente é possível chegarem sinais eletromagnéticos de diversos satélites; a antena terá uma orientação adequada a fim de que o receptor LNB, na ponta da antena, capte exclusivamente os sinais de um satélite específico. A direção da qual chegam as ondas eletromagnéticas de um satélite em especial pode ser conhecida utilizando-se o "Satellite Finder / Dish Alignment Calculator with Google Maps" ("Buscador de satélites / Calculador do Alinhamento de Antena com Google Maps"), disponível no Dishpointer.com.

Esse interessante "Buscador" possui uma lista com centenas de satélites e pode ser usado em todo o globo. Ao selecionar a localidade da antena e o satélite de interesse, o "Buscador" fornece em um mapa do Google a direção da qual é proveniente a radiação eletromagnética, além de outras informações, inclusive identificando obstáculos nas proximidades do local. A direção é definida por um azimute (ângulo com o eixo norte-sul) e por uma elevação (ângulo com a horizontal). Como qualquer satélite está estacionado no plano equatorial sobre um determinado meridiano terrestre, os diferentes satélites acessíveis em um local específico do planeta encontram-se necessariamente ao norte (sul) no hemisfério sul (norte), alguns no quadrante nordeste (sudeste) e outros no quadrante noroeste (sudoeste). A veracidade das orientações contidas no "Buscador" é atestada pelos técnicos responsáveis pela instalação adequada das



Figura 16: Imagens da Lua cheia de 11 de fevereiro de 2017 no Japão e no Brasil.

antenas pelo mundo afora.

Buscamos o satélite 55.5W INTELSAT 34 em Porto Alegre (a cidade tem latitude de  $-30^\circ$  e longitude de  $-51^\circ$  ou  $51^\circ$  W). Esse satélite situa-se próximo ao meridiano de Porto Alegre, já que sua longitude é  $-55,5^\circ$ . Encontramo-lo quase ao norte, no azimute de  $351,5^\circ$ , portanto a  $8,5^\circ$  com o norte, no quadrante noroeste, elevado  $54,7^\circ$  com a horizontal, a uma distância de 36.803 km da capital gaúcha. Buscando o mesmo satélite na mesma longitude de Porto Alegre mas no hemisfério norte, em latitude de  $+30^\circ$ , encontramos-lo quase ao sul dessa posição (azimute de  $188,5^\circ$  portanto  $8,5^\circ$  com o sul, no quadrante sudoeste), elevado  $54,7^\circ$  com a horizontal, a uma distância de 36.803 km do local escolhido, que resultou estar acima do Oceano Atlântico Norte.

Considerando agora o satélite 70W STAR ONE, nós o buscamos em três posições na Terra, localizadas no meridia-

no de  $-70^\circ$  ou  $70^\circ$  W. A primeira é Milare, na Venezuela (latitude de  $+11,4^\circ$ ), a segunda situa-se exatamente sobre o Equador (dentro da Floresta Amazônica) e a terceira na localidade de Perito Moreno na Argentina (latitude de  $-46,6^\circ$ ). Verificamos consistentemente que o satélite situa-se ao sul de Milare com elevação de  $76,6^\circ$ , sobre o equador e ao norte de Perito Moreno, com elevação de  $36,4^\circ$ . A Fig. 17 representa em escala as posições das três localidades na superfície do globo terrestre e as elevações do satélite.

Conforme já destacamos anteriormente, a veracidade das informações sobre as orientações das antenas em todo o mundo é atestada pelos instaladores das mesmas, ou seja, a práxis corrobora indubitavelmente esse conhecimento. Os mapas do Google sabidamente funcionam muito bem em incontáveis aplicações práticas, e por estarem teoricamente vinculados à geometria do geóide, outra vez

avaliavam inquestionavelmente tal conhecimento.

Com auxílio do Google Earth, obtivemos as distâncias a que Milare e Perito Moreno se situam da linha do equador, sendo respectivamente 1253 km e 5162 km. Dessa maneira é possível traçar em escala (Fig. 18) as linhas de orientação da radiação eletromagnética oriundas da mesma fonte (o satélite 70 W STAR ONE) em um diagrama consistente com a anacrônica Terra Plana. Vemos na figura que as três linhas verdes não mais se interceptam em um único ponto; as intersecções sobre o equador da Terra Plana encontram-se a 3.806 km e a 5.260 km, atestando dessa maneira o absurdo que um modelo de Terra Plana acarreta.

O terraplanismo é uma concepção em conflito com todo o conhecimento acumulado e aperfeiçoado sobre nosso planeta desde a Antiguidade. Alguém que conheça minimamente a história e as rea-

## Apêndice

O apêndice apresenta algumas referências na internet relacionadas ao tema da forma da Terra e da concepção da Terra plana. Todos os endereços foram acessados em 18/09/2017

### A.1 - Postagens no sítio pergunte ao cref sobre a forma da Terra

Como sabemos que a Terra é achatada? - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=92>

Achatamento da Terra segundo a Mecânica Cartesiana e a Mecânica Newtoniana - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=452>

Diferença na aceleração da gravidade do polo para o equador - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=819>

O formato da Terra - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=828>

Teste sobre a forma da Terra! - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1489>

Achatamento polar da Terra e centrifugação dos oceanos para o equador - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2569>

### A.2 - Postagens no pergunte ao CREF sobre a Terra Plana

Refutando a Terra Plana - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1441>

Satélites de telecomunicações não existem, afirmou um aloprado terra-chato! - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1788>

As atuais tecnologias de telecomunicações evidenciam a esfericidade da Terra - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1874>

A divergência da luz crepuscular prova que o Sol da Terra Plana está logo ali! Será mesmo? - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1883>

Duas terraplanistas demonstram em um vídeo que a Terra NÃO é plana! - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1894>

Antártica na Terra Plana: muralha de gelo e domo? - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1902>

Sobre o pêndulo de Foucault: resposta a um terraplanista - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1956>

Uma explicação qualitativa da razão de ciclones e anticiclones girarem em sentidos opostos (resposta a um terraplanista) - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1969>

Heliocentrismo versus Terra Plana - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1983>

Refração da luz na atmosfera: o horizonte geométrico e o horizonte visual - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2001>

Como se explica que a sombra da Lua no eclipse solar anda de oeste para leste? - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2360>

Para onde apontam as antenas parabólicas que recebem sinais de televisão? - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2555>

Domo na Antártica é real e há diversos! - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2562>

Horizonte no nível dos olhos em qualquer altitude porque a Terra é plana! Será mesmo? - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2567>

Distância ao Sol na mítica Terra Plana: a razão de as diversas estimativas serem conflitantes! - <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=2572>

### A.3 - Programa na rádio da UFRGS sobre a Terra Plana

Mas a Terra ... não é redonda? - <http://frontciencia.me/2pu5isO>

### A.4 - Excelente artigo sobre a Terra Plana

Flat Earth - <https://www.lhup.edu/~dsimane/flat/flaart.htm>

### A.5 - Um bom apanhado sobre a Terra Plana em português

Teoria da Terra plana ganha força na internet - Outra conspiração? - <http://www.curtoecurioso.com/2016/01/teoria-da-terra-plana-contra-teoria-da-terra-esferica.html>

### A.6 - Coleção de vídeos "provando que a Terra não é plana"

Proving the Earth is not Flat - Part 1 - The Horizon - <https://www.youtube.com/watch?v=W9ksbh88OJs>

Proving the Earth is not Flat - Part 2 - The Stars - <https://www.youtube.com/watch?v=NGZEXkSX9wI>

Proving the Earth is not Flat - Part 3 - The Moon - <https://www.youtube.com/watch?v=FTBaOmJEqg0>

Proving the Earth is not Flat - Part 4 - Easy Experiments - [https://www.youtube.com/watch?v=VFU1A88N\\_6I](https://www.youtube.com/watch?v=VFU1A88N_6I)

### A.7 - Vídeo com a palestra "sobre a forma da Terra"

Oficina de Astronomia 415 na UNISINOS - <https://youtu.be/SahYXf1L9HMCa>

VII Encontro Estadual de Ensino de Física - RS: <https://www.youtube.com/watch?v=trMt7qNiGk&feature=youtu.be>

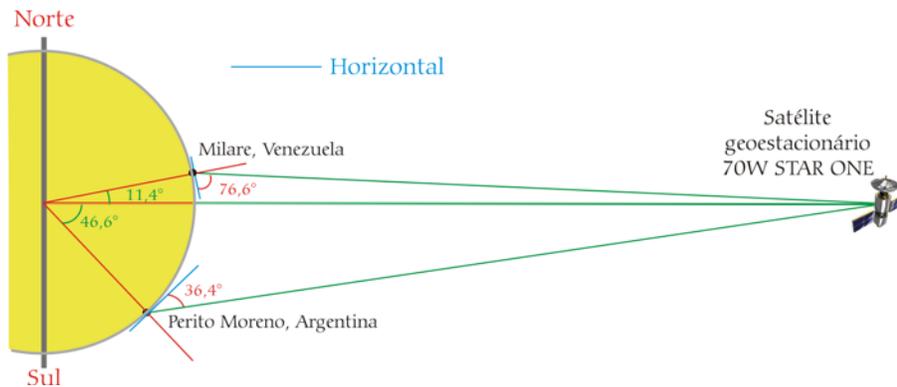


Figura 17: Satélite 70W STAR ONE e três localidades sobre o meridiano  $-70^\circ$  em latitudes diversas.

lizações teórico-práticas sobre a forma da Terra, somente em um exercício de forte dissociação cognitiva aderiria à esdrúxula Terra Plana; o fundamentalismo religioso pode patrocinar tal desconexão com a realidade. Aliás, esse exercício de dissociação cognitiva está sendo realizado em vídeos da internet quando, com pretensas medidas, os autores tentam apoiar o terraplanismo usando os mapas do Google ou o Google Earth em algumas de suas mensurações. É bem sabido que tais mapas, bem como as medidas sobre eles realizadas somente estão corretas se a Terra não for plana!

### Conclusão

O tema relativo à forma da Terra parece ter grande interesse atual e ele ganha um novo atrativo devido à proliferação da anacrônica e esdrúxula concepção da Terra Plana, amplamente divulgada na internet. Professores de física são questionados por seus alunos sobre essa concepção. Cientistas e divulgadores científicos, a exemplo de Neil deGrasse Tyson, Michael Shermer e Richard Dawkins, já se manifestaram sobre a forma da Terra, combatendo o terraplanismo.

Este artigo, endereçado principal-

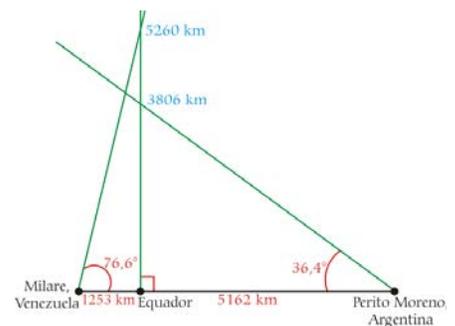


Figura 18: Para onde se orientam as antenas na Terra Plana?

mente aos professores de física, pretende dar uma contribuição ao tema da forma da Terra, mostrando que esse conhecimento é uma construção científica com uma trajetória de 25 séculos de realizações teóricas e experimentais, além estar incorporado na práxis de diversas tecnologias em nossa sociedade. No Apêndice são indicados diversos endereços da internet onde o assunto é abordado.

### Agradecimento

Ao professor Rolando Axt (IF-UFRGS) pelas sugestões que permitiram aperfeiçoar o artigo. Ao árbitro da FnE agradeço a leitura atenta e as indicações para o aperfeiçoamento do artigo.

### Referências

- [1] Centro de Referência para o Ensino de Física. *Como Eratóstenes mediu  $7^\circ$  entre Assuã e Alexandria para achar a circunferência da Terra?*, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1016>, acesso em 10/03/2017.
- [2] S.O. Kepler e M.F. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Ed. Livraria da Física, São Paulo, 2014), disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>, acesso em 10/03/2017.
- [3] J.P. Verdet, *Uma História da Astronomia* (Ed. Zahar, Rio de Janeiro, 1991).
- [4] F.L. Silveira, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, número especial, 28 (2002).
- [5] J. Bronowski e B.J. Mazlish *A Tradição Intelectual do Ocidente* (Edições 70, Lisboa, 1983).
- [6] P. Casini, *Newton e a Consciência Européia* (Ed. UNESP, São Paulo, 1995).
- [7] C.M. La Condamine, *Viagem na América Meridional Descendo o Rio Amazonas* (Ed. Senado Federal, Brasília, 2000), disponível em [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action&co\\_obra=19329](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action&co_obra=19329), acesso em 16/03/2017.
- [8] D.D. McCarthy and G. Petit (orgs) *IERS Conventions (2003)* (Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt, 2004), disponível em [https://www.iers.org/SharedDocs/Publicationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote32/tn32.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.iers.org/SharedDocs/Publicationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote32/tn32.pdf?__blob=publicationFile&v=1), acesso em 18/03/2017.
- [9] GRACE - Gravity anomaly maps and the geoid - <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GRACE/page3.php>, acesso em 19/03/2017.
- [10] S. Rowbotham, *Zetetic Astronomy - Earth not a Globe!* (Simpkin and Marshall, London, 1865), disponível em [http://www.thelateearthssociety.org/library/books/Earth%20Not%20a%20Globe%20\(Samuel%20Rowbotham\).pdf](http://www.thelateearthssociety.org/library/books/Earth%20Not%20a%20Globe%20(Samuel%20Rowbotham).pdf), acesso em 19/03/2017.
- [11] M. Minaert, *The Nature of Light and Colour in the Open Air* (Dover, New York, 1954).
- [12] J.F. Rider and S.D. Uslan, *FM Transmission and Reception* (J.F. Rider Inc., New York, 1950), disponível em <https://ia800203.us.archive.org/10/items/FmTransmissionAndReception/RiderUslan1950FmTransmissionReception.pdf>, acesso em 12/04/2017.

### Referências de Internet

- Dishpointer, <http://www.dishpointer.com/> (acessado em 13/04/2017).  
 Earth Curve Calculator <https://dizzib.github.io/earth/curve-calc/?d0=10&h0=1.8&unit=metric> (acessado em 20/03/2017).  
 MoonConnection.com, [http://www.moonconnection.com/moon\\_phases\\_calendar.phtml](http://www.moonconnection.com/moon_phases_calendar.phtml) (acessado em 11/05/2017).  
 Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_satellites\\_in\\_geosynchronous\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_satellites_in_geosynchronous_orbit) (acessado em 12/04/2017).

### Notas

- <sup>1</sup><http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=indice>, acesso em 10/03/2017.  
<sup>2</sup><http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1489>, acesso em 10/03/2017.  
<sup>3</sup>A toesa é uma antiga medida de comprimento anterior à Revolução Francesa que equivale a 1,949 m (<https://en.wikipedia.org/wiki/Toise>, acesso em 03/07/2017).

## Referências

- [1] Centro de Referência para o Ensino de Física. *Como Eratóstenes mediu 7° entre Assuã e Alexandria para achar a circunferência da Terra?*, disponível em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1016>, acesso em 10/03/2017.
- [2] S.O. Kepler e M.F. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Ed. Livraria da Física, São Paulo, 2014), disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>, acesso em 10/03/2017.
- [3] J.P. Verdet, *Uma História da Astronomia* (Ed. Zahar, Rio de Janeiro, 1991).
- [4] F.L. Silveira, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **19**, número especial, 28 (2002).
- [5] J. Bronowski e B.J. Mazlish *A Tradição Intelectual do Ocidente* (Edições 70, Lisboa, 1983).
- [6] P. Casini, *Newton e a Consciência Européia* (Ed. UNESP, São Paulo, 1995).
- [7] C.M. La Condamine, *Viagem na América Meridional Descendo o Rio Amazonas* (Ed. Senado Federal, Brasília, 2000), disponível em [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action&co\\_obra=19329](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action&co_obra=19329), acesso em 16/03/2017.
- [8] D.D. McCarthy and G. Petit (orgs) *IERS Conventions (2003)* (Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt, 2004), disponível em [https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote32/tn32.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote32/tn32.pdf?__blob=publicationFile&v=1), acesso em 18/03/2017.
- [9] GRACE - Gravity anomaly maps and the geoid - <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GRACE/page3.php>, acesso em 19/03/2017.
- [10] S. Rowbotham, *Zetetic Astronomy - Earth not a Globe!* (Simpkin and Marshall, London, 1865), disponível em [http://www.theflatearthsociety.org/library/books/Earth%20Not%20a%20Globe%20\(Samuel%20Rowbotham\).pdf](http://www.theflatearthsociety.org/library/books/Earth%20Not%20a%20Globe%20(Samuel%20Rowbotham).pdf), acesso em 19/03/2017.
- [11] M. Minaert, *The Nature of Light and Colour in the Open Air* (Dover, New York, 1954).
- [12] J.F. Rider and S.D. Uslan, *FM Transmission and Reception* (J.F. Rider Inc., New York, 1950), disponível em <https://ia800203.us.archive.org/10/items/FmTransmissionAndReception/RiderUslan1950FmTransmissionReception.pdf>, acesso em 12/04/2017.

## Referências de Internet

- Dishpointer, <http://www.dishpointer.com/> (acessado em 13/04/2017).
- Earth Curve Calculator <https://dizzib.github.io/earth/curve-calc/?d0=10&h0=1.8&unit=metric> (acessado em 20/03/2017).
- MoonConnection.com, [http://www.moonconnection.com/moon\\_phases\\_calendar.phtml](http://www.moonconnection.com/moon_phases_calendar.phtml) (acessado em 11/05/2017).
- Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_satellites\\_in\\_geosynchronous\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_satellites_in_geosynchronous_orbit) (acessado em 12/04/2017).

## Notas

- <sup>1</sup><http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=indice>, acesso em 10/03/2017.
- <sup>2</sup><http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1489>, acesso em 10/03/2017.
- <sup>3</sup>A toesa é uma antiga medida de comprimento anterior à Revolução Francesa que equivale a 1,949 m (<https://en.wikipedia.org/wiki/Toise>, acessado em 03/07/2017).



# Atividades práticas no ensino de física na EJA

## Giovani Zanetti Neto

Instituto Federal do Espírito Santo,  
Serra, ES, Brasil  
E-mail: [giovani.zanetti@gmail.com](mailto:giovani.zanetti@gmail.com)

## Laércio Ferracioli

Universidade Federal do Espírito Santo,  
Vitória, ES, Brasil  
E-mail: [laercio.ufes@gmail.com](mailto:laercio.ufes@gmail.com)

## Introdução

Este trabalho analisa a utilização de atividades práticas no ensino de física na Educação de Jovens e Adultos (EJA). Os resultados decorrem de uma pesquisa realizada no contexto de um curso do Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos (Proeja), em um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IF), na qual se investigaram ações educativas apropriadas ao ensino de física na EJA. As ações da pesquisa envolveram em um primeiro momento uma experiência de monitoria junto ao público da EJA e, posteriormente, o desenvolvimento e a vivência de práticas educativas.

## Desenvolvimento, aplicação e avaliação das atividades práticas

Na pesquisa realizada sobre o ensino de física/ciências no contexto da EJA [1], foram desenvolvidas e utilizadas em sala de aula um conjunto de atividades práticas. Os experimentos foram elaborados em função do planejamento das aulas de forma que estivessem associadas aos conteúdos ministrados (cinemática e dinâmica). A utilização de *experimentos científicos formais* foi descartada desde o início por considerarmos inapropriados ao contexto. Dessa maneira, as atividades práticas utilizadas na pesquisa foram divididas em *demonstrações práticas* e em *experimentos descritivos*.

O *experimento descritivo* [2] foi considerado em consonância com a ênfase conceitual demandada pelos sujeitos. Tal percepção encontra ressonância no trabalho de Gehlen [3], que, analisando especificamente a produção em ensino de física que

se ancora em Vygotsky [4], indicam a importância de operar “dentro dos limites da capacidade de entendimento dos estudantes, considerando o seu nível de desenvolvimento real e projetando atividades que o levem para além deste”.

Deve-se pontuar, contudo, que inicialmente as observações indicaram que as demandas mais imediatas dos estudantes do Proeja no contexto do ensino de ciências não envolviam as atitudes e procedimentos científicos. Por outro lado, a docente da disciplina de física na qual se desenvolveu a pesquisa expôs que não realizava experimentos de forma clássica nos laboratórios, uma vez que já havia observado que os resultados não eram produtivos.

Entretanto, por considerarmos que a *afetividade* do processo educacional [5-7] poderia ser potencializada pela utilização de atividades práticas, foi adotada a estratégia de utilizá-las em sala de aula. Ressalta-se que a adoção dessa estratégia considerou que a realização de experimentos no contexto da EJA favoreceria o envolvimento dos estudantes; sendo assim, as atividades práticas desenvolvidas *não*

tinham por referência as práticas da comunidade científica, mas sim a perspectiva de favorecer a aprendizagem dos sujeitos pela via da ampliação das estratégias didáticas.

Assim, os kits dos experimentos foram planejados e construídos para o uso em sala de aula.

As práticas experimentais utilizadas estão descritas a seguir. O kit “carro e bloco” (Fig. 1) permite explorar os conceitos de equilíbrio de forças e forças resultantes. Esse kit pode ser construído com materiais simples, como roldanas e níveis de pedreiro. Alterando as massas, o carro sofre a ação de uma aceleração.

**Inicialmente as observações indicaram que as demandas mais imediatas dos estudantes do Proeja no contexto do ensino de ciências não envolviam as atitudes e procedimentos científicos**

Este trabalho analisa a utilização de atividades práticas no ensino de física na Educação de Jovens e Adultos. Apresenta-se o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação das atividades práticas realizadas em sala de aula em uma disciplina de física em um curso destinado a jovens e adultos. As conclusões indicaram que a incorporação de atividades práticas ao ensino de física/ciências na EJA favorece a aprendizagem ao explorar aspectos como colaboração mútua, interação social e habilidades investigativas. Tais atividades favorecem uma postura ativa dos estudantes no processo educativo, dão voz aos alunos e possibilitam a troca de ideias. E, de modo muito relevante, a realização de experimentos expõe as dificuldades dos estudantes, fornecendo aos docentes um instrumento de análise do processo educativo. Indica-se, todavia, que, em um primeiro momento, atividades práticas mais conceituais são mais apropriadas à modalidade EJA.



Figura 1: Demonstração prática dos experimentos “carro e bloco”, com o carro submetido a uma resultante nula de forças.

Uma variação do kit “carro e bloco” (Fig. 2) consiste em fixar uma lixa de ferro na base de madeira e submeter o conjunto base e bloco de madeira a uma força de tração lateral, explorando assim o conceito de força de atrito.

A demonstração de que uma resultante não nula de forças gera um movimento acelerado pode ser obtida adicionando ao kit “carro e bloco” um “acelerômetro”. O acelerômetro é construído com um recipiente de vidro simples com tampa e um objeto que flutua, como uma rolha, uma bola de isopor ou, como foi utilizado, uma bola de natal de plástico. Com um barbante, fixou-se a bola de natal na tampa do recipiente de vidro, o qual foi preenchido de água. Em seguida, o recipiente de vidro foi virado de cabeça para baixo, fazendo com o objeto flutuasse fixado ao fundo. Quando o conjunto sofre uma aceleração, a bola de natal inclina-se no sentido do movimento, enquanto que se o movimento for uniforme o objeto flutuante permanece na vertical (conforme indicado na Fig. 3).

Fazendo com que o carro se desloque pela ação de uma massa sob ação da força da gravidade, o “acelerômetro” indica claramente que o movimento do carro é



Figura 2: Demonstração prática associando os experimentos “carro e bloco” com o bloco utilizado para demonstrar a força de atrito.

acelerado. Para melhor captar o resultado, o movimento pode ser filmado com um aparelho de celular para que o movimento seja estudado.

Por sua vez, o kit “força peso e força normal” (Fig. 4) destinou-se ao estudo do comportamento das forças peso e normal em função da inclinação do plano, bem como à investigação de forças de tração de cabos sobre molas. Utilizando uma peça de MDF com cerca de 15 cm de largura e 100 cm de comprimento, foi fixada perpendicularmente

uma seta de papelão com a palavra “Normal”, enquanto que a seta identificada por “Peso” podia girar livremente sobre um parafuso de suporte. À medida que o estudante inclina a peça de MDF, a seta “Normal” mantém-se perpendicular ao plano e a seta “Peso” sempre possui o sentido para o centro da Terra. Adicionalmente, foram acrescentadas molas ao cabo, de modo a demonstrar que à medida que o plano se inclina, aumenta a força de tração no cabo.

O terceiro kit (Fig. 5), intitulado “atrito no plano inclinado”, permitiu aos estudantes investigar a força de atrito resultante do contato de diferentes superfícies em função do ângulo de inclinação do plano. Foi construído um plano articulado em MDF, sobre o qual foram fixadas lixas de ferro de diferentes gramaturas. Sobre as lixas eram colocados pequenos blocos de MDF. Foi pedido aos alunos que inclinassem aos poucos o plano e observassem o resultado. O bloco que estava diretamente sobre o MDF, sem uma superfície com elevado atrito, era o primeiro a deslocar-se. À medida que a inclinação aumentava, os demais blocos se movimentavam, sendo que o que estava sobre a lixa de maior atrito era o último a mover-se.



Figura 3: Demonstração prática associando os experimentos “carro e bloco” com o “acelerômetro”.

### Análise dos dados

Após a aplicação das atividades práticas em sala de aula, procedeu-se à avaliação das atividades realizadas. Foram entrevistados estudantes que participaram do processo e também a docente responsável pela disciplina. Dos 13 estudantes que participaram das aulas, 11 responderam a um questionário ao final do período e quatro alunos concederam entrevistas individuais. As respostas dos discentes foram analisadas utilizando a metodologia do Discurso do Sujeito Coletivo [8].

A primeira avaliação sobre as atividades práticas refere-se ao seu potencial para *materializar* os conteúdos teóricos: “Porque a gente teve mais a noção, porque falado, explicado no quadro, não tem muita clareza na mente. E já mostrando no experimento fica mais claro porque tira do papel para o dia a dia, de forma mais fácil para o aluno aprender” (Discurso do sujeito coletivo - discentes). Nesse mesmo sentido, outra estudante ressaltou a questão da conexão entre conteúdo teórico e experiências cotidianas:

As experiências foram positivas porque aquilo aconteceu no dia a dia, por exemplo, no ônibus tem o acelerômetro. Ou seja, dá visão do papel para o real, pois você pode pegar o objeto e ter a noção de como funciona. Com um objeto se movimentando de um lado para o outro é muito diferente do papel, já que no papel você tem que imaginar. Assim fica uma coisa que você não tem somente como imaginar, mas tá vendo



Figura 4: Experimento descritivo “força peso e força normal”.

o que está acontecendo na realidade das coisas (Discurso do sujeito coletivo – discentes).

Uma estudante categorizou o experimento descritivo como um momento de aprendizagem distinto da aula expositiva, no qual a participação ativa do estudante vai ao encontro de características próprias do público da EJA. O experimento é indicado pelos alunos como uma forma de *tornar concretos* os conteúdos teóricos e facilitar o processo de aprendizagem:

Foi muito bom porque tem dias que a gente chega com a mente muito pesada e você não tem concentração no quadro, o que está sendo falado. A partir do momento que tem algo ali na frente que você toca, que você pega, que você vê, repete várias vezes a mesma coisa, você prende sua atenção ali, a sua mente fica presa naquilo ali e você não consegue pensar outras coisas, ficar pensando outras coisas, você consegue ficar presa naquilo ali e aprender. E às



Figura 5: Experimento descritivo “atrito no plano inclinado”.

vezes o professor está falando e tem alguém falando junto e você não consegue entender muito o que o professor está falando, e tendo algo que prende a atenção, todo mundo presta atenção naquilo que está fazendo (Discurso do sujeito coletivo – discentes).

Apesar da relevância e da potencialidade do uso de atividades práticas para o processo educativo, o relato dos alunos indicou que a aula expositiva é o padrão nas disciplinas de ciências na instituição, sendo a realização de experimentos inexistente ou muito ocasional:

Até agora a gente fez experimentos só em física. Química desde o segundo período, agora até o terceiro, a minha turma [...] não fez ainda. Outro professor levou a gente para o laboratório de química e fez lá um experimento lá, mas foi uma coisa rápida. Em biologia não fizemos não. No geral, é só sala de aula, só conteúdo no quadro, no livro e exercício (Discurso do sujeito coletivo – discentes).

A contradição observada é que, de forma geral, as atividades práticas não são relevantes nas práticas dos docentes da instituição. Esse ponto expõe um elemento das práticas docentes que dificulta o processo de aprendizagem dos sujeitos da EJA, pois a dimensão *concreta* é significativa em um contexto de dificuldade de elaboração do pensamento abstrato.

Ademais, observou-se que esse processo de interação do aluno com o experimento está fortemente vinculado à ação do docente como mediador do processo, incentivando e propondo questões. Destaca-se que durante uma aula somente expositiva, esse momento não ocorre, indicando que a exploração de múltiplas abordagens durante o processo de ensino é requerida.

Esse aspecto foi destacado nas entrevistas realizadas com a docente responsável pela disciplina de física na qual as atividades práticas foram realizadas. A professora destacou como pontos positivos a interação entre os alunos nas práticas experimentais, além da característica dos experimentos de *tornar concreto o conteúdo* e de fazer o aluno sujeito ativo da aprendizagem:

Nós percebemos que a utilização dos experimentos planejados e construídos gerava uma interação muito grande entre eles e com o professor. Eu percebi que alunos que eram distantes do professor começaram a se aproximar, alunos que tinham dificuldade de trabalhar em equipe começaram a trabalhar

(Professora de física).

A interação gerada pelas práticas experimentais, na percepção da professora, permite identificar as dificuldades dos estudantes, situação não vivenciada na aula expositiva: “o [...] aluno tem que trabalhar, tem que falar, ele precisa estar dialogando com o professor, a gente precisa saber o que ele está pensando para aquilo que a gente está explicando” (Professora de física).

Corroborando as falas dos estudantes e da docente, as observações realizadas pelo pesquisador em sala de aula indicaram que a realização das práticas experi-

mentais foi considerada positiva, principalmente por criar um contexto em que *foi possível expor* as dificuldades encontradas pelos alunos na aplicação dos conteúdos em situações concretas, além de criar um contexto que *materializou* os conceitos teóricos ministrados.

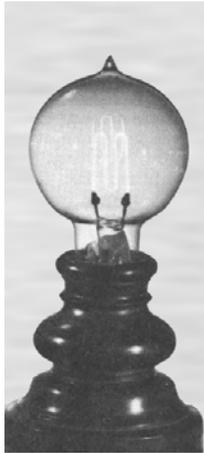
### Conclusões

A incorporação de atividades práticas para o ensino de física/ciências na EJA favorece sobremaneira a aprendizagem ao explorar aspectos como a colaboração mútua, interação social e habilidades investigativas. Tais atividades favorecem

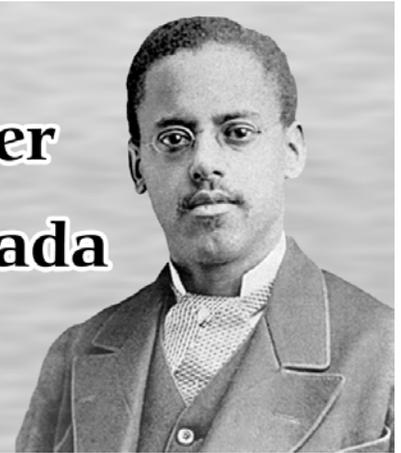
uma postura ativa dos estudantes no processo educativo, dão voz aos alunos e possibilitam a troca de ideias. E, de forma muito relevante, o experimento expõe as dificuldades dos estudantes, situação que não ocorre durante uma aula somente expositiva e que fornece aos docentes um instrumento de análise do processo educativo [9-10]. Entretanto, observou-se que inicialmente o experimento científico formal não é o mais apropriado ao público da EJA. Indicam-se assim atividades experimentais mais conceituais que explorem os conteúdos desejados, contudo, sem o formalismo do fazer experimental.

### Referências

- [1] G. Zanetti Neto, *Delineamento de Ações Educativas para o Ensino de Física na Educação de Jovens e Adultos*. Tese de Doutorado, Ufes, Serra, 2015.
- [2] F. Bazoli, *Ciência e Educação Rev.* **20**, 3 (2014).
- [3] S.T. Gehlen, K.R. Halmenschlager, A.R. Machado e M.A. Auth, *Experiências em Ensino de Ciências Rev.* **7**, 76 (2012).
- [4] L.S. Vygotsky, *Pensamento e Linguagem* (Martins Fontes, São Paulo, 2008).
- [5] J.P.C. Erthal, in: *Investigação e Ensino de Ciências: Experiências em Sala de Aula do Proeja*, editado por M.P. Linhares (EDUIENF, Campos dos Goytacazes, 2012), p. 77-85.
- [6] M.P. Linhares, *Investigação e Ensino de Ciências: Experiências em Sala de Aula do Proeja*, editado por M.P. Linhares (EDUIENF, Campos dos Goytacazes, 2012).
- [7] M.E. Reis, *Pesquisando o Proeja Através do Ensino de Ciências da Natureza* (Essentia Editora, Campos dos Goytacazes, 2011).
- [8] A.M.C. Lefevre e F. Lefevre, *Depoimentos e Discursos: Uma Proposta de Análise em Pesquisa Social* (Liber Livro Editora, Brasília, 2005).
- [9] P. Freire, *Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 2013), 46<sup>nd</sup> ed.
- [10] J.I. Pozo e M.A.G. Crespo, *A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: Do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico* (Artmed, Porto Alegre, 2009), 5<sup>nd</sup> ed.



# Lewis Howard Latimer e sua história aprisionada



“Uma vez que o outro hesitava em me conhecer,  
só havia uma solução: fazer-me conhecer.”  
(Frantz Fanon)

.....  
**Rodrigo Fernandes Morais**

C.E. Compositor Manacéia José de  
Andrade, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
E-mail: phy.arte@gmail.com

.....  
**Antonio Carlos Fontes dos Santos**

Departamento de Física Nuclear,  
Instituto de Física, Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Rio de  
Janeiro, RJ, Brasil  
Email: toni@if.ufrj.br

.....

## Introdução

**N**ormalmente, durante aulas regulares de física, estudantes entram em contato com nomes de representantes da ciência, como, a título de exemplo: Isaac Newton (1643-1727), Anders Celsius (1701-1744), Georg Simon Ohm (1789-1854), James Prescott Joule (1818-1889), André-Marie Ampère (1775-1836) etc. A partir de leis, unidades, relações matemáticas ou até mesmo fenômenos físicos que recebem o nome e homenageiam construtores da ciência, estudantes acabam se familiarizando principalmente com seus sobrenomes. Em grande maioria, homens brancos de nacionalidade europeia ou americanos descendentes de europeus.

Mesmo quando se utiliza a história da física no transcorrer de uma aula, é comum que somente a vida e a produção científica desses mesmos nomes sejam explorados. Ainda que feitas com boas intenções, a constante repetição dessas práticas educacionais não fornece ao estudante uma visão geral sobre a diversidade de trabalhadores que contribuíram para construir as teorias e leis científicas. Sob esse ponto de vista, podemos ressaltar que as práticas educacionais em física não são diferentes das realizadas em outras áreas do conhecimento. Para citar, em filosofia, salvo pelo esforço próprio de alguns educadores e educadoras, a maioria dos filósofos apresentados para estudantes é grega, ignorando por exemplo os pensadores árabes e africanos - ambos de epiderme mais escura [1, 2].

**Sem precisar ser especialista no assunto, é fácil constatar que a história de lutas, vitórias e conquistas dos(as) negros(as), de forma consciente ou inconsciente, são omitidas pela historiografia oficial**

Sem precisar ser especialista no assunto, é fácil constatar que a história de lutas, vitórias e conquistas dos(as) ne-

gros(as), de forma consciente ou inconsciente, são omitidas pela historiografia oficial. Não sendo diferente com a produção científica dos descendentes da diáspora africana,<sup>1</sup> que é simplesmente relegada a segundo plano ou apagadas dos livros.

Grandes nomes das ciências da natureza e das ciências humanas costumam despertar o interesse dos discentes durante as aulas. Em particular, nas aulas de física, perguntas como “O que diz a teoria da relatividade de Albert Einstein?”, “A maçã realmente caiu na cabeça de Newton?” são frequentes. O que não impede o surgimento de questionamentos que envolvam outras áreas do conhecimento, do tipo: “Quem foi Platão?” ou até mesmo “Professor(a), o que defendia Karl Marx?”

O físico José Leite Lopes, em uma de suas palestras afirmou: “A aventura humana é uma beleza”, aconselhando jovens físicos a criarem o hábito de lerem sobre filosofia, sociologia, história, para que não perdessem dimensões em sua formação [3, p. 14]. Seguindo os conselhos de Leite Lopes, o escopo deste artigo tem por finalidade apresentar uma proposta de aula contextualizada com outras

dimensões, utilizando o episódio histórico da invenção da lâmpada incandescente.

O texto que será apresentado reconta essa “conhecida” história sob um novo olhar, retomando a história aprisionada do inventor negro Lewis Howard Latimer (1848-1928), com o objetivo de apresentar aos alunos e alunas a diversidade que permeia a construção científica, além de contribuir para criar reflexões e debates sobre questões étnico-raciais. Além do mais, tem o propósito de reforçar a identidade do(a) jovem negro(a), explorando essa fundamental representatividade, ou seja, a partir da apresentação de um per-

Este trabalho reconta o episódio histórico da invenção da lâmpada incandescente retomando a história aprisionada do inventor negro Lewis Howard Latimer, com o objetivo de apresentar aos alunos e alunas a diversidade que permeia a construção científica, além de contribuir para criar reflexões e debates sobre questões étnico-raciais. Histórias aprisionadas de personagens como Lewis Latimer quando libertadas e bem trabalhadas servem a não apenas para fornecer uma visão alternativa a historiográfica tradicional, mas principalmente em termos pragmáticos apresentar para estudantes uma imagem representativa do(a) negro(a) em acontecimentos históricos importantes para a sociedade.

sonagem da ciência negro em meio à demografia científica predominante branca.

A utilização desse recurso ideacional,<sup>2</sup> além do reforço de identidade que contribui para redução da inferiorização, pode colaborar para que estudantes negros despertem atração pela área das exatas após uma possível identificação, tanto pela cor quanto pela história de vida do personagem apresentado.

É importante ressaltar que vivenciamos um período histórico considerado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como sendo a Década Internacional Afrodescendentes (2015-2024), baseada em valores como reconhecimento, justiça e desenvolvimento. Segundo a ONU, os países devem considerar o direito à igualdade e à não discriminação e fornecer educação para a igualdade e a ampliação da conscientização, além de promover a participação e inclusão de pessoas autoidentificadas como afrodescendentes.

Ao declarar esta década, a comunidade internacional reconhece que os povos afrodescendentes representam um grupo distinto cujos direitos humanos precisam ser promovidos e protegidos [5].

Embora, hoje, tenhamos em nosso país algumas políticas públicas, como a importante Lei 10.639/03 que alterou a redação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei n.9.394/1996), tornando obrigatório o ensino da história e cultura afro-brasileira e africana em todos os estabelecimentos de ensino fundamental e médio, consideramos ainda insuficiente a implementação de práticas educacionais correlacionadas com esta legislação em ciências exatas.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para a educação das relações étnico-raciais e para o ensino de história e cultura afro-brasileira e africana chamam a atenção para a necessidade da adoção de *ações afirmativas*, ou seja, um conjunto de ações políticas empregadas para que ocorra a correção de desigualdades sociais e raciais. Essas ações devem ter o objetivo de criar condições para que estudantes negros(as) não sejam rejeitados(as), de maneira consciente ou inconscientemente, em virtude de cor da pele e características físicas, evitando que estes(as) sejam desencorajados a prosseguir seus estudos.

É fundamental a elaboração de políticas afirmativas que se destinem a:

**É importante destacar que a escola é uma das engrenagens, no mecanismo de libertação que podem oferecer sensível contribuição na erradicação das injustiças sociais, assim como tem papel preponderante na emancipação dos grupos racializados e discriminados**

[...] reconhecer as disparidades entre brancos e negros na educação e intervir de forma positiva, assumindo o compromisso de eliminar as desigualdades raciais, dando importante passo rumo à afirmação dos direitos humanos básicos e fundamentais da população negra brasileira [7, p. 8].

Infelizmente, ainda persevera no Brasil um imaginário étnico-racial que favorece os brancos. Imaginário este, baseado em uma visão eurocêntrica, que pouco valoriza ou ignora outras culturas. O movimento negro tem alertado para o quanto é dura a experiência, vivida pelos descendentes da diáspora africana, de terem seus comportamentos, ideias e intenções previamente julgados negativamente. Além disso, têm eles alertado para o fato de quão alienante é a experiência de fingir ser o que não são para serem aceitos.

O filósofo, psiquiatra e revolucionário martinicano Frantz Fanon argumenta em sua obra, sobre descolonização e desalienação, *Peau noire, masques blancs* (1952), que o sujeito negro, em sua vida, por diversas vezes e em inúmeras situações, é conduzido a “vestir” a *máscara branca* como estratégia de convivência e sobrevivência em suas relações sociais. Segundo o autor, a assimilação dos padrões brancos de comportamento cria complexos psíquicos – por exemplo, sentimento de inferiorização – que podem acompanhar o sujeito negro por toda a vida [8].

Em acordo com o pensamento de Fanon, as DCNs para a educação das relações étnico raciais e para o ensino de história e cultura afro-brasileira chamam a atenção para o quanto é dolorosa “a experiência de deixar-se assimilar por uma visão de mundo que pretende impor-se como superior e, por isso, universal e que os obriga a negarem a tradição de seu povo” [7, p. 14].

É importante destacar que a escola é uma das engrenagens, no mecanismo de libertação (descolonização e desalienação), que podem oferecer sensível contribuição na erradicação das injustiças sociais, assim como tem papel preponderante na eman-

**Embora tenhamos em nosso país algumas políticas públicas tornando obrigatório o ensino da história e cultura afro-brasileira e africana em todos os estabelecimentos de ensino fundamental e médio, consideramos insuficiente a implementação de práticas educacionais correlacionadas com esta legislação em ciências exatas**

cipação dos grupos racializados e discriminados. Como educadores, propomos intervenções planejadas – durante as aulas, em particular as de física – que colaborem para alicerçar a equidade em nossa sociedade, proporcionando a estudantes tanto conhecimento científico e aprendizagem significativa quanto consciência cultural e o reconhecimento de histórias aprisionadas que reforcem a identidade e sirvam para libertá-los das amarras promovidas pela falácia, consciente ou inconsciente, da superioridade – estética, intelectual etc. – *greco-ocidental*.

### **Texto Histórico: O inventor negro Lewis Howard Latimer (1848-1928)**

No dia 4 de setembro de 1848, em Chelsea, Massachusetts, nascia Lewis Howard Latimer, filho de um escravo fugitivo do sistema escravocrata americano. Lewis Latimer enfrentou as dificuldades de nascer em uma família humilde, em uma época de extremo preconceito e segregação racial. Porém, superando todas as dificuldades, tornou-se um grande inventor. Latimer, naturalmente, por conta da escravidão, guardava dissabores. Contudo, sua jornada de superação iniciou-se aos dez anos de idade, quando começou a trabalhar aplicando papel de parede com seu pai, que nessa época havia adquirido a liberdade. Em seguida, trabalhou como *office-boy* para um renomado advogado de Boston. Aos 16 anos alistou-se na marinha norte-americana e lutou contra a escravidão no período da Guerra Civil Americana (1861-1865). Tendo cumprido o período referente ao serviço militar, voltou para casa, quando foi contratado por um advogado do ramo de patentes como auxiliar de escritório. Foi nessa época que os interesses de Lewis Latimer pelo desenho se iniciaram. Detectada sua habilidade, logo se tornou projetista e em seguida

foi nomeado projetista-chefe da empresa de patentes. Foi quando teve a oportunidade de desenvolver e preparar projetos de invenções que foram incorporadas ao acervo do escritório de patentes na capital, Washington.

Foram dele também os desenhos iniciais que cooperaram

para a preparação do pedido de patente do telefone de Alexander Graham Bell [9, p. 5].

Infelizmente, a historiografia tradicional parece ter esquecido esse importan-

te personagem da história das ciências exatas, já que o nome de Latimer (Fig.1) não costuma frequentar os relatos “oficiais” dos autores que escrevem sobre o episódio da invenção da lâmpada.

Nesses relatos sobre essa invenção de imprescindível utilidade para a humanidade na era moderna, somente o nome de Thomas Alva Edison é lembrado. Porém, é importante reescrever a história e retomar um detalhe que completa esse episódio. A história conta que no final da década de 70 do século XIX, foi criada uma nova demanda de conhecimento elétrico a partir da emergência exigida pela indústria elétrica [10, p. 320]. Nesse período, um grande número de inventores buscava elaborar protótipos de fontes artificiais de luz que utilizassem energia elétrica como fonte alimentadora. Em resposta a esse recente mercado, Thomas Edison desenvolveu seu protótipo de lâmpada incandescente em 1879, porém essas lâmpadas tinham vida útil muito baixa - em termos atuais, queimavam rapidamente.

Olhando em retrospectiva, a partir de 1874 as invenções de Latimer começaram a aparecer e se destacar no cenário. Em 1880, Hiram S. Maxim, um inventor e também fundador da United States Electrical Lighting Company, convida Latimer para fazer parte da sua companhia. Enquanto trabalhava nessa empresa, no ano de 1882, Lewis Latimer inventou e patenteou o processo para fazer o filamento de carbono presente nas lâmpadas [9, p. 6].

Nas palavras do próprio Latimer:

Saiba-se que Eu, Lewis H. Latimer, de Nova York, no condado de Nova York e estado de Nova York, inventei novos e úteis melhoramentos na manufatura de carbono para lâmpadas elétricas (...) Minha invenção se refere mais parti-



Figura 1: Lewis H. Latimer.

cularmente a carbonizar os condutores para lâmpadas incandescentes, embora seja igualmente aplicável a manufatura de folhas delicadas de carbono denso e duro projetado para qualquer propósito (...) (Tradução livre [11])<sup>3</sup>

O processo consistia na carbonização de tiras de materiais fibrosos ou têxteis. Essas tiras eram inseridas dentro de uma espécie de envelope feito com folhas de papel cartão - ou qualquer material equivalente - de maneira que fosse prevenida a entrada de ar (Fig. 2). Em seguida, esse conjunto era submetido a temperaturas elevadas.

Esse processo, ao contrário dos processos utilizados anteriormente, evitou que as tiras extremamente delicadas viessem a se romper ou serem distorcidas. Somente após a fabricação de filamentos que utilizavam esse processo o tempo de vida útil das lâmpadas incandescentes se tornou considerável. Além disso, o processo tornou-as mais em conta financeiramente. Sendo assim, o filamento de carbono de Latimer foi fundamental tanto para o funcionamento das lâmpadas desenvolvidas por Edison quanto para a comercialização das mesmas pela indústria (Fig. 3).

Em 1884, Latimer junta-se à Edison Electric Light Company, sendo nomeado engenheiro projetista. A famosa Edison General Electric Company nasceu em 1889, a partir da coligação entre a Edison Electric Light Company e outras empresas. Em 1890 Latimer publicou um livro técnico, altamente conceituado e de extrema relevância para estudantes de engenharia e engenheiros, intitulado *Incandescent Electric Lighting - A Practical Description of the Edison System*. Esse livro serviu como guia geral para a engenharia elétrica da época [9, p. 7].

É importante ressaltar que mesmo com todas as restrições que a vida lhe impôs, sua “força de vontade”<sup>4</sup> aliada a suas habilidades, talento para desenhar e aptidão para criação de projetos o transformaram em um expoente da engenharia elétrica, grande inventor e especialista em patentes. Além dessas qualidades,

Latimer também desenvolveu outros variados desejos e interesses, tornando-se poeta e músico, como relata sua história.

### A “luz” de filamento de carbono

As lâmpadas incandescentes atuais utilizam filamentos de tungstênio, mas mesmo esses modelos estão sendo substituídos por lâmpadas que utilizam, cada uma delas, tecnologias próprias e explicações físicas diferentes em suas produções de luminosidade. Por exemplo, as lâmpadas fluorescentes e as modernas lâmpadas de LED (*light emitting diode*). No entanto, variados modelos com filamento de carbono, releituras das lâmpadas do início do século XIX, vêm ganhando destaque em projetos de iluminação. Essas lâmpadas têm fascinado profissionais da decoração e clientes, já que no interior de seu bulbo de vidro o filamento incandescente de carbono forma uma espécie de desenho, além de emitir uma luz amarela e de

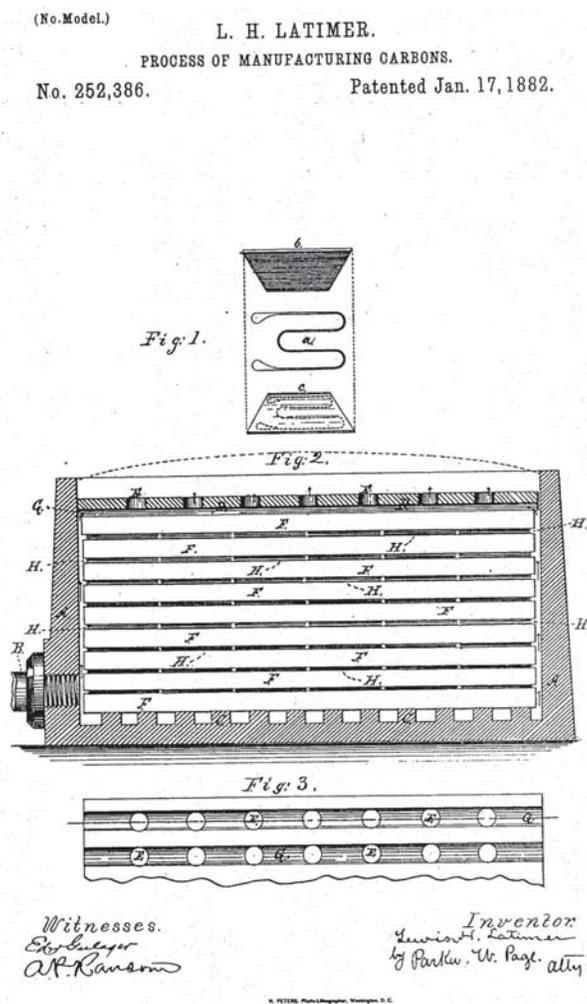


Figura 2: Esquema que buscava representar e auxiliar a explicação de como era feito o processo de carbonização proposto por Latimer.

menor intensidade luminosa do que sua “irmã” caçula de filamento de tungstênio. Em outras palavras, uma lâmpada de filamento de carbono, que produz a mesma potência elétrica que uma de filamento de tungstênio, fornece aos nossos sentidos visuais uma luminosidade que interpretamos como mais “suave”.

O interessante é que em pleno século XXI conseguimos com facilidade adquirir lâmpadas de filamento de carbono para elaboração de práticas experimentais. Tais práticas podem ser elaboradas para serem apresentadas após os debates gerados pelo texto da seção anterior.

Com criatividade, um circuito simples e aparelhos de medidas apropriados podemos em nossas aulas aferir corrente elétrica e voltagem, além de calcular a resistência elétrica do filamento de carbono e sua potência. Estudantes terão a oportunidade de trabalhar a Primeira Lei de Ohm, o Efeito Joule, entre outros conceitos, em proximidade com as características da lâmpada idealizada por Edison e aperfeiçoada por Latimer.

Da mesma forma, comparando-a a



Figura 3: Lâmpada original com filamento de carbono fabricado pelo processo de carbonização de condutores inventado por Lewis H. Latimer em 1882.

outros exemplares, estudantes terão a possibilidade de verificar a diferença de luminosidade entre os diferentes tipos de lâmpadas construídas a partir de diferentes recursos e tecnologias, assim como analisar as diferenças no consumo de energia elétrica entre os diferentes tipos de lâmpadas.

É importante deixar claro para os alunos e as alunas que essas lâmpadas retrô de filamento de carbono não são os protótipos originais do século XIX. Porém, avaliamos que a contextualização é válida e, ainda, a visualização, o contato, o manuseio e o estudo de uma lâmpada construída com o “mesmo” filamento descrito no texto histórico pode colaborar para despertar e avivar o interesse de estudantes pela física envolvida.

### Considerações finais

A ressignificação da história da invenção da lâmpada incandescente apresentada é um exemplo significativo que parece confirmar a frase atribuída a George Orwell: “a história é escrita pelos vencedores”. Com efeito, a historiadora da matemática Tatiana Roque, em seu livro, *História da Matemática: Uma Visão Crítica Desfazendo Mitos e Lendas*, corroborando com a célebre frase, salienta que:

Os europeus foram erigidos em herdeiros privilegiados dos milagres gregos e a ciência passou a ser vista como uma criação específica do mundo greco-ocidental. [13, p. 23]

Endossando esse ponto de vista e acrescentando a questão racial como mantenedora de poder, Achille Mbembe em sua obra *Crítica da Razão Negra*, argumenta:

(...) ainda há bem pouco tempo, a ordem do mundo fundava-se num dualismo inaugural que encontrava parte das suas justificações no velho mito da superioridade racial. Na sua ávida necessidade de mitos destinados a fundamentar o seu poder, o hemisfério ocidental considerava-se o centro do globo, o país natal da razão, da vida universal e da verdade da humanidade. Sendo o bairro mais civilizado do mundo, só o Ocidente inventou um <<direito das gentes>>. [14, p. 27]

Visando contribuir para o desmanche dessa visão, durante as aulas de física propomos a adoção de práticas educacionais que trabalhem com a diversidade étnico-racial (e também de gênero) em ciências e que contribuam com a formação geral (dimensões) de estudantes. A proposta não deve ser confundida e tam-

pouco deve ser interpretada como um concurso étnico-racial entre sujeitos da ciência. Pelo contrário, o que se almeja é, a partir da apresentação da diversidade demográfica científica, contribuir para construção coesa da equidade. Apresentar o(a) negro(a) como construtor(a) da ciência em um universo onde o(a) negro(a) é associado(a), na maioria

das vezes, a trabalhos braçais é de extrema riqueza educacional e importância social.

Histórias aprisionadas de personagens como Lewis Latimer, quando libertadas e bem trabalhadas, servem a esse propósito – não apenas por fornecer uma visão alternativa à historiografia tradicional, mas principalmente em termos pragmáticos apresentar para estudantes uma imagem representativa do(a) negro(a) em acontecimentos históricos importantes para a sociedade. Colocar o nome de Latimer no hall de grandes inventores, ao lado de grandes personagens da ciência, como o próprio Thomas Edison, serve para demonstrar para alunos e alunas que o processo de criação científica é feita por trabalhadores(as) (em ciência), desfazendo a sensação de que somente o grupo demográfico constituído por homens brancos europeus é capaz de fazer ciência.

Textos como o apresentado podem servir como alicerce para a gênese de inúmeros debates de cunho socioeconômico e racial em sala de aula, podendo, inclusive, ser trabalhados de maneira interdisciplinar. Por conseguinte, a implementação desse modelo de prática afirmativa colabora para reforçar a identidade de estudantes negros e negras, tendo a finalidade de desconstruir possíveis imagens negativas de si introjetadas em relação ao mundo, bem como as referentes à área das exatas.

Da mesma forma, acreditamos que textos com o “espírito”, ou melhor, com propósito semelhante ao apresentado neste trabalho possam ser utilizados para que estudantes tomem conhecimento da

**Colocar o nome de Latimer no hall de grandes inventores, ao lado de grandes personagens da ciência, como o próprio Thomas Edison, serve para demonstrar para alunos e alunas que o processo de criação científica é feita por trabalhadores(as) (em ciência), desfazendo a sensação de que somente o grupo demográfico constituído por homens brancos europeus é capaz de fazer ciência**

produção científica de mulheres - minoria na construção da Ciência<sup>5</sup> - que registraram seus nomes na *roda viva* da história das ciências exatas. Servirão, assim, para desmitificar a errônea, preconceituosa e determinista visão introjetada no tecido social de que a mulher não desenvolve as habilidades e competências necessárias para área de exatas.

Pesquisas no campo da psicologia social têm demonstrado a influência do denominado *stereotype threat* (ou ameaça de estereótipo, numa tradução livre). *Stereotype threat* é definido como uma ameaça psicológica que um indivíduo sente quando ele(a) acredita que um determinado estereótipo pode influenciá-lo(a) a

realizar uma certa atividade de maneira ineficaz. Com tal visão enraizada, o indivíduo acaba, consciente ou inconscientemente, afastando-se de certas funções, assim como de algumas categorias profissionais. Estudos atuais realizados na psicologia mostram que esse tipo de crença prejudica o rendimento de estudantes que pertencem a grupos étnico-raciais e de gênero diferentes dos dominantes em ciência.

Esperamos que este trabalho colabore com a produção de mais materiais e que promova e estimule a inclusão de cientistas representantes da diáspora africana nos livros e materiais didáticos de física e de ciências exatas em geral. Além disso,

almejam que as discussões sobre diversidade e equidade no ensino de ciências exatas, tanto na comunidade acadêmica como no ambiente escolar, se torne pauta relevante e práxis entre educadores e educadoras. E ainda, almejam que a implementação de mais práticas educacionais semelhantes à recomendada neste trabalho colaborem para melhorar o interesse e o desempenho em exatas de grupos minoritários, além de colaborar para que cada vez mais a diversidade cresça em ciência.

### Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, programa Abdias Nascimento.

### Referências

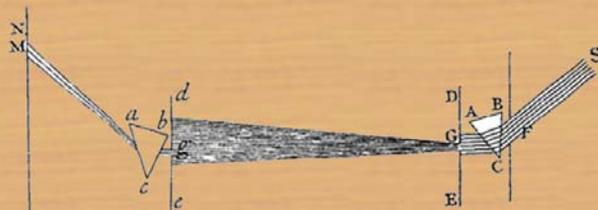
- [1] F.A. de Vasconcelos, in: *IV Encontro Internacional de Literaturas, Histórias e Culturas Afro-Brasileiras e Africanas* (Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2015), p. 1.-7.
- [2] A.F. Machado, *Revista de Educação Ciência e Tecnologia* **3**, 1 (2014).
- [3] J.L. Lopes, in: *Do átomo Grego à Física das Interações Fundamentais*, editado por F. Caruso e A. Santoro (CBPF, Rio de Janeiro, 2000), 2ª ed., p. 13-44.
- [4] S. Hall, *Da Diáspora: Identidades e Mediações Culturais* (Editora UFMG, Belo Horizonte, 2006).
- [5] Organização das Nações Unidas, *2015-2024 Década Internacional Afrodescendentes*, disponível em [www.decada-afro-onu.org](http://www.decada-afro-onu.org), acesso em 20/4/2017.
- [6] N. Nasir, *Racialized Identities: Race and Achievement Among African American Youth* (Stanford University Press, California, 2012).
- [7] Brasil, *Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação das Relações Étnico Raciais e para o Ensino de História e Cultura Afro-Brasileira e Africana* (MEC, Brasília, 2004).
- [8] F. Fanon, *Pele Negra, Máscaras Brancas* (SciELO-EDUFBA, Salvador, 2008).
- [9] Thomas Alva Edison's Associate, *Lewis Howard Latimer: A Black Inventor. A Biography and Related Experiments You Can Do* (Thomas Edison Foundation, Michigan, 1985).
- [10] B.J. Hunt, in: *The Modern Physical and Mathematical Sciences*, editado por M.J. Nye (Cambridge University Press, Cambridge, 2008), p. 311-327.
- [11] L.H. Latimer, *Process of Manufacturing Carbon*, No. 252,386. Patented Jan. 17, 1882, disponível em <https://www.google.com/patents/US252386> acesso em 06/4/2017.
- [12] M. Gadotti, *Educação e Poder - Introdução à Pedagogia do Conflito* (Cortez, São Paulo, 2012), 16ª ed.
- [13] T. Roque, *História da Matemática: Uma Visão Crítica, Desfazendo Mitos e Lendas* (Zahar, Rio de Janeiro, 2012), 2ª reimpressão.
- [14] A. Mbembe, *Crítica da Razão Negra* (Antígona, Lisboa, 2014), 1ª ed.
- [15] R. Katemari, in: *XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF* (SBF, São Paulo, 2015), p. 1-12.

### Notas

- <sup>1</sup>Dispersão - imigração forçada - do povo africano para fins escravistas mercantis para fora da África, principalmente o continente americano [4].
- <sup>2</sup>Recursos ideacionais são definidos como ideias que o indivíduo possui de si próprio e a sua relação e posição frente ao mundo, bem como ideias sobre o que é valorizado e o que é considerado uma qualidade [6].
- <sup>3</sup>"Be it known that I, Lewis H. Latimer, of New York, in the county of New York and State of New York, have invented certain new and useful Improvements in the Manufacture of Carbons for Electric Lamps (...) My invention relates more particularly to carbonizing the conductors for incandescent lamps, though it is equally applicable to the manufacture of delicate sheets or strips of dense and tough carbon designed for any purpose whatever (...)" [11].
- <sup>4</sup>Deve-se tomar cuidado com esse termo, pois apesar do empenho pessoal ser fundamental, o êxito ou fracasso profissional do indivíduo não depende apenas de sua dedicação. "Força de vontade" é uma expressão presente nos editoriais de auto-ajuda que funcionam como pilar de sustentação da concepção meritocrática burguesa que ignora as condições sociais a partir de uma perspectiva individualista, responsabilizando cada ser humano pela sua condição. "É fundamental compreender que em uma sociedade dividida em classes não existe *igualdade de oportunidades*." [12, p. 128]
- <sup>5</sup>Ver a contribuição sobre o tema apresentado na Ref. [15].



# Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica



.....

## Anabel Cardoso Raicik

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: anabelraicik@gmail.com

## Luiz O.Q. Peduzzi

Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: luizpeduzzi@gmail.com

## José André Peres Angotti

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: zeangotti@gmail.com

.....

## Introdução

A concepção e o reconhecimento de ‘experimentos cruciais’ na ciência são matérias controversas. Há posturas antagônicas tanto entre filósofos da ciência – que admitem desde a existência desses experimentos somente em retrospectiva àquelas que não aceitam que eles possam existir – quanto entre cientistas, que, em seus relatos científicos, utilizam a expressão com divergentes significados [1].

Ao longo dos séculos XVII e XVIII, período mais fortemente influenciado pelas novas concepções experimentais que surgiram na ciência, sobretudo com o método indutivo de Francis Bacon (1561–1626), identificam-se, entre outros, Robert Boyle (1627–1691), Robert Hooke (1635–1703), Isaac Newton (1643–1727), Luigi Galvani (1737–1798) e Alessandro Volta (1745–1827) empregando o termo ‘crucial’ para designar alguns de seus experimentos. Boyle parece ter sido o primeiro a fazer isso, utilizando a expressão *experimentum crucis* com apelo demonstrativo.

Na perspectiva baconiana, a *instantia crucis* pode se literalmente traduzida como ‘instância de encruzilhada’, uma vez que Bacon tomou o termo por referência/analogia às cruzes que se colocam nas estradas para indicar bifurcações. Boyle acreditava que, quando de um impasse teórico, apenas um experimento que mostrasse um efeito explicado por apenas uma teoria deveria ser buscado. Reside aqui “um exemplo quase perfeito de uma instância crucial de Bacon” [2, p. 55].

No curso da nova filosofia natural

experimental, os relatórios empíricos começaram a se fazer presentes na comunidade científica. Isto fez emergir a necessidade de ‘disciplinar’ a apresentação dos resultados contidos nessas narrativas. Bacon argumenta a favor de métodos de comunicação. Segundo ele, pode-se descrever o que foi feito experimentalmente de forma ‘magistral’ à luz do pressuposto que “requer que se deve acreditar no que é dito” e com métodos ‘iniciativos’ que, por sua vez, mostram os processos pelos quais se chega a determinadas conclusões [3, p. 515–516]. Para se obter credibilidade, era imprescindível que a experiência fosse efetivamente comunicada ao público [4].

Nessa perspectiva, embora de modo não descomedido, o zelo de Bacon levou Boyle a desenvolver formas literárias de comunicação de experimentos [3]. Ele buscou designar convencionalidades específicas à maneira de falar sobre a natureza e o conhecimento natural. Direta ou indiretamente, esse *status* ‘normativo’ influenciou a forma como as narrativas experimentais eram apresentadas entre os estudiosos e, posteriormente, às recém-criadas sociedades científicas.

Boyle preocupou-se com a reprodutibilidade dos experimentos. Isso o fez considerar como um dos quesitos mais relevantes dos relatos a elaboração e a veiculação de imagens<sup>1</sup> experimentais, sobretudo aquelas naturalísticas – que possuem detalhes circunstanciais que não são visíveis, por exemplo, em representações mais esquemáticas. Em seus próprios estudos ele registra detalhadamente e sob diferentes circunstâncias os experimentos que realizava. O papel da imagem, associada à sua descrição, estava fortemente relacionado, então, com a

**Ao longo dos séculos XVII e XVIII, período mais fortemente influenciado pelas novas concepções experimentais que surgiram na ciência, muitos estudiosos importantes empregaram o termo ‘crucial’ para designar alguns de seus experimentos**

O artigo analisa a contextualização dos estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores, particularmente a ilustração do *experimentum crucis*, em livros de divulgação científica. Para subsidiar a compreensão da importância dada às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos em meados do século XVII, resgata as narrativas experimentais apresentadas por Boyle. Aponta, ainda, possíveis implicações para o ensino de ciências.

reprodução dos experimentos pelos pares, seja de forma física ou mental.

Em meio a essa intensa valorização experimental, Newton remete em 1672 um artigo, redigido em forma de carta, ao secretário da Royal Society relatando sua nova teoria sobre luz e cores [5]. O artigo, juntamente com outros escritos, serviu de base para a publicação da *Óptica* [6], em 1704, quase duas décadas depois [7]. No decorrer da apresentação desse seu estudo, pelo qual explica o fenômeno da formação das cores devido à refração, ele apodera-se com apelo retórico tanto do termo *experimentum crucis* para designar um de seus experimentos quanto de imagens que o ilustram, apresentadas em outro artigo em 1672 [8] e na *Óptica*. A análise histórica desse episódio mostra, nitidamente, a incongruência de se admitir que um experimento é capaz de apresentar resultados que, de forma decisiva e instantânea, alcançam o consenso científico [9-12].

No ensino de ciências é corrente a ideia de que experimentos cruciais podem estabelecer a ‘verdade’ científica. Isto é, que o experimento, por si só, é capaz de gerar resultados definidores e incontestáveis. Essa imagem está implícita ou explicitamente presente, além de em livros didáticos, em diferentes meios de divulgação da ciência, como em filmes, séries, documentários e textos de divulgação científica. Ao seu modo, esses materiais – que cada vez mais fazem parte de atividades didáticas nas salas de aula – transmitem concepções e imagens sobre a ciência.

Por certo, a divulgação científica visa atingir um amplo público, não necessariamente alfabetizado cientificamente. Assim sendo, seus materiais utilizam recursos como ilustrações, infográficos, metáforas que, se não devidamente contextualizados, podem penalizar a precisão de informações [13]. Como ressalta Forato [14], muitos deles contemplam perspectivas anacrônicas e descontextualizadas da construção da ciência, especialmente sobre o período tido como o ‘nascimento da ciência moderna’. Dessa forma, especialmente quando usados em sala de aula, requerem cuidados historiográficos, uma vez que podem reforçar concepções inadequadas ou limitadas *sobre* a ciência,

**A análise histórica dos estudos newtonianos sobre a teoria da luz e cores mostra, nitidamente, a incongruência de se admitir que um experimento, por si só, é capaz de gerar resultados definidores e incontestáveis**

**Ao utilizar o termo *experimentum crucis* Newton emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão em sua narrativa experimental**

como a que se refere ao mito do experimento crucial.

Este artigo busca investigar como uma amostra de livros de divulgação científica, de autores com distintas formações, contextualiza os estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores na perspectiva das ilustrações dos experimentos por ele desenvolvidos, particularmente do *experimentum crucis*. Para tanto, discute brevemente as narrativas experimentais apresentadas por Boyle e a importância concedida por ele, em meados do século XVII, às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos quando de suas publicações. Em conclusão, apresenta implicações da análise desenvolvida para o ensino de ciências.

### **Relatos experimentais no século XVII: a relevância das ilustrações**

Robert Boyle, com seu olhar perspicaz, persuadiu consideravelmente a identidade do novo praticante científico no final do século XVII [15], tornando-se uma das figuras mais influentes da Royal Society. Defendendo que os relatos experimentais deveriam ser escritos em uma linguagem acessível aos seus contemporâneos, influenciado por Bacon, ele percebe que até então as narrativas continuavam a ser redigidas de forma indisciplinada e a sua confiabilidade era matéria de preocupação.

Em vista disso, Boyle argumenta que ao manipular a natureza era preciso não apenas buscar informações dos processos naturais, mas também melhorar o nível dessas informações. “A qualidade que tinham os experimentos de resultar em matérias de fato dependia não somente de sua real execução, mas também (...) da certificação por parte da comunidade relevante de que eles haviam sido assim executados”

[16, p. 95]. O próprio Boyle “ao reportar experimentos que eram particularmente cruciais ou problemáticos” escolhia suas testemunhas e julgava suas qualificações, para que suas demonstrações atestassem legitimidade.

O desenvolvimento de relatos experimentais que facilitassem a reprodução de experimentos pelos leitores era outra maneira de garantir o depoimento coletivo. Para isso, alguns desafios à época tinham de ser contornados, como aquele que se

refere à dificuldade de acesso a determinados aparatos experimentais, pelo seu custo e locomoção, e à falta de habilidade de alguns dos estudiosos.

Não obstante, a forma mais relevante de se conseguir a multiplicação de testemunhas, que, vale frisar, era um critério de cientificidade experimental, era por meio de ‘testemunhos virtuais’ [16]. Essa estratégia empregava os mesmos recursos linguísticos de incentivo para a reprodução física do experimento ou para produzir na mente do leitor uma imagem naturalística da cena do experimento. As narrativas experimentais deveriam ser escritas de maneira que estudiosos não presentes como testemunhas ‘reais’, pudessem replicar efetivamente os efeitos relevantes do experimento. É importante ressaltar que para Boyle, portanto, o testemunho era uma questão de evidência e não de autoridade [17].

As imagens naturalísticas priorizadas por Boyle tinham por função complementar o testemunho por meio da imaginação. Elas não eram meros desenhos, mas figuras que apresentavam detalhes circunstanciais que, como ele alegava, não seriam visíveis em representações mais esquemáticas. “Produzir imagens desse tipo consistia em uma atividade onerosa em meados do século dezessete e os filósofos naturais as utilizavam com parcimônia” [16, p. 99]. Boyle também valorizava e fazia uso de imagens esquemáticas, desde que as mesmas apresentassem comentários e descrições.

Por certo, Boyle buscou organizar textos que, “com detalhes circunstanciais inseridos nos limites de uma estrutura gramatical”, poderiam imitar a simultaneidade da experiência por meio das representações pictóricas [3, p. 493]. Ele foi, sem dúvida, um personagem marcante na ciência, que ilustra a posição empírica afirmada claramente por Bacon [18]. Newton foi seu contemporâneo, e, embora se possa destacar em seus estudos diversos recursos linguísticos ressaltados por Boyle, ele não teve, a contento, as mesmas preocupações.

Enquanto um andou humildemente e falou e escreveu em uma língua na qual as pessoas sem instrução poderiam ler e entender – e isso explica em grande medida a influência que exerceu –, o outro redigiu em latim o *Principia* [19] e viveu em uma esfera em que poucos poderiam penetrar [15]. Já na *Óptica* essa diferença é minimizada. Ela foi escrita originalmente em inglês, possivelmente para torná-lo mais popular em termos de conteúdo e de alcance [20].

## As ilustrações de Newton do *experimentum crucis*

No artigo “Nova Teoria sobre Luz e Cores”<sup>2</sup> [5], Newton relata os resultados de vários anos de estudos e explica o fenômeno da formação das cores devido à refração [7, 9, 10, 21]. Desenvolvendo inúmeros experimentos com prismas, ele conclui que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios com diferentes graus de refrangibilidade. Nesse artigo, ele não explorou abundantemente o artifício pictórico, mas utiliza o termo *experimentum crucis* para um de seus experimentos que, pode-se dizer, emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão em sua narrativa experimental.

Newton inicia seu relato descrevendo uma experiência que permitia a passagem de luz branca do Sol por um prisma de vidro:

(...) tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício na veneziana de minha janela, para admitir a entrada de uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei meu prisma à entrada dele, para que a luz fosse refratada para a parede oposta. A princípio, foi uma diversão muito agradável observar as cores vívidas e intensas assim produzidas, mas, depois de algum tempo empenhando-me em examiná-las com maior circunspeção, surpreendeu-me vê-las em uma forma oblonga, porquanto, segundo as leis aceitas da refração, eu esperava que ela fosse circular [5, p. 3076].

De acordo com Granés [9, p. 29] o parágrafo acima é “magistral, por sua precisão e poder de síntese”. Podem-se perceber aspectos circunstanciais, relevantes para Boyle, explanados por Newton ao descrever esse experimento. O quarto escurecido, o orifício na veneziana da janela, a função desse orifício, a colocação do prisma, o seu encantamento, a surpresa ao constatar algo imprevisto pela teoria vigente, são detalhes com os quais se pode evidenciar que, de fato, a “atenção para com a escrita de relatórios sobre experimentos tinha uma importância prática que era pelo menos igual à própria realização dos experimentos” [3, p. 492].

Por certo, o caminho trilhado por Newton o conduzia a encontrar uma teoria para o fenômeno da formação das cores que permita explicar a forma oblonga do espectro sem abandonar a lei da refração de René Descartes (1596–1650) – que admitia que o raio incidente e o raio refratado que saem de um prisma se comportam de maneira simétrica na posição de desvio mínimo do prisma. A pergunta que

ele se faz é: “a inesperada forma alongada do espectro sobre a parede não poderia, talvez, ser causada por elementos que dependem inteiramente das circunstâncias específicas que enquadram a realização particular do experimento?” [9, p. 32].

Newton verifica a hipótese de serem os componentes de seu experimento os causadores dessa forma alongada. Constatando sua improcedência, ele segue formulando novas conjecturas e fazendo (e criando) novas experimentações. Supõe que o alongamento era devido a uma irregularidade no prisma de vidro ou ainda a uma falta de paralelismo do feixe de luz proveniente do Sol que penetra o orifício da persiana, devido ao tamanho do astro e sua distância finita da Terra.

A eliminação dessas suspeitas levou Newton ao seu *experimentum crucis*, que consistia de uma lente à frente de um prisma, pela qual passava a luz branca do Sol. A lente possibilitava produzir um espectro fino e com cores bem definidas em um anteparo. Um furo no anteparo permitia que uma pequena faixa do espectro passasse por um segundo prisma, que não decompunha a luz em novas cores, apenas produzia uma mancha da cor selecionada.

Curiosamente, a primeira imagem (Fig. 1) do experimento crucial irá aparecer apenas em um artigo publicado quatro meses depois, em junho de 1672 [8], no *Philosophical Transactions*.

De acordo com Newton, essa figura (Fig. 1) foi desenvolvida por causa das dúvidas e debates que surgiram após a publicação do artigo sobre a luz e as cores.

Finalmente, como a melhor confirmação, acrescento o Experimento a que eu já dei o nome de Crucial em vários lugares: já que as condições [sob os quais o experimento havia sido realizado] apresentaram dúvidas, eu decidi desenvolver esta figura [8, p. 5016, tradução dos autores].

Conforme Boyle, as ilustrações nos relatos experimentais eram fundamentais para aqueles que requeriam auxílio visual, por não possuírem facilidade de imagina-

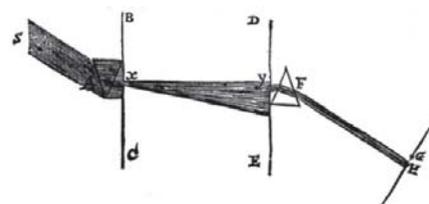


Figura 1: O *experimentum crucis* de Newton, publicado em 1672 [8].

ção [3]. A função da imagem newtoniana do experimento crucial pode ter sido a de ilustrar, ainda que superficialmente, como se dispôs o experimento, e evidenciar, sobretudo para os testemunhos, que ele de fato havia sido realizado, conferindo maior confiabilidade ao seu resultado.

Isso se justifica principalmente porque, após a publicação do seu primeiro artigo sobre o assunto, Newton recebeu muitas críticas. Diversos filósofos naturais escreveram à Royal Society indicando que os experimentos newtonianos não davam os resultados indicados por ele ou propondo outros que contrariavam a sua teoria [21]. “Para resolver a questão experimental, Robert Hooke foi encarregado de repetir diante da Royal Society os experimentos de Newton, e conseguiu reproduzi-los sem problemas” [21, p. 325]. Cabe ressaltar que, na época, Hooke era curador oficial da Royal Society, isto é, responsável por reproduzir os experimentos descritos nos artigos submetidos e/ou publicados pela academia. Apesar de aceitar como corretos os experimentos newtonianos, ele continuou a negar sua teoria.

Por certo, o objetivo principal do *experimentum crucis* foi descobrir se as cores poderiam ser transformadas e criadas, ou não. Todavia, segundo Silva e Martins [21], o discurso por trás do seu experimento crucial muda durante as árduas discussões com seus críticos. Na *Óptica* [6], 32 anos depois, Newton também descreve e ilustra (Fig. 2) o que seria o *experimentum crucis*, porém nessa obra ele não explicita essa terminologia. Em seu livro, fica mais evidente a dependência desse experimento com outros para que se pudesse mostrar, conclusivamente, que as cores não eram uma mistura de luz e sombras, como pensavam alguns desde Aristóteles, nem produzida no ato da refração [11, 22].

A ilustração é acompanhada de um longo comentário, em que Newton busca explicar os aspectos circunstanciais pelos quais o experimento foi realizado. Todavia, é um texto despersonalizado e um tanto argumentativo, escrito com uma frieza objetiva e uma concisão que deixa de lado aspectos secundários [10] priorizados por Boyle.



Figura 2: Ilustração do *experimentum crucis* apresentado na *Óptica* em 1704.

Para Newton, as premissas de sua teoria emanam diretamente, de maneira natural e quase evidente, do experimento que denominou crucial. Para Boyle, há uma retórica de convencimento inerente aos textos científicos. Encontram-se nos textos boyleanos uma preocupação em fornecer ao leitor uma imagem muito vívida da realização de cada um dos experimentos. Muitos dos leitores newtonianos, todavia, teriam dificuldades em replicar alguns de seus experimentos, pois teriam de ‘inventar’ detalhes técnicos da sua realização. Isso pode ser explicado pelo fato de que Newton, diferindo de Boyle, escreveu para um público mais especializado.

O certo é que “a famosa frase, *experimentum crucis*, tornou-se quase sinônimo de teoria newtoniana” [23, p. 354]. As imagens, apresentadas em diferentes textos, propiciaram ainda mais a disseminação do experimento e sua popularidade para diferentes públicos, gostando Newton ou não.

A ilustração em si revela ainda mais a sua importância na publicação da segunda edição da *Óptica* em Paris, no ano de 1722. Varignon, responsável por essa edição, solicitou a Newton uma imagem que representasse seu trabalho sobre óptica [11]. Dentre inúmeras opções, Newton escolheu o *experimentum crucis* (Fig. 3). Além disso, havia no desenho a seguinte frase: *Nec variat lux colorem*, que quer dizer “a luz não muda de cor quando é refratada” [11].

### O discurso da divulgação científica: as ilustrações dos experimentos sobre luz e cores de Newton

Quando Boyle buscou estabelecer textos científicos com determinados recursos linguísticos, ele visava, sobretudo, a popularização da ciência [16]. Ele defendia o que frequentemente é utilizado na litera-

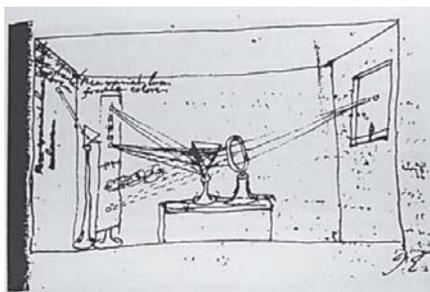


Figura 3: Ilustração selecionada por Newton para representar seus estudos ópticos. A escolhida para a tradução francesa, publicada em 1722, foi uma versão aprimorada. Imagem extraída de Assis [11].

tura como ‘divulgação científica’: o uso de recursos técnicos para a comunicação científica ao público em geral [24]. Newton, no entanto, admitia que o conhecimento deveria ser restrito aos iniciados, ou seja, a escrita deveria ser feita de forma específica para pessoas minimamente instruídas. Ele priorizava o que se pode chamar de ‘comunicação científica’, ou seja, um texto transcrito em códigos especializados, para um público seletivo formado de especialistas [13]. Cabe ressaltar que nem Boyle, nem tampouco Newton, utilizaram as expressões ‘comunicação’ ou ‘divulgação científica’.

Independentemente de como os relatos são escritos, tanto para os pares como para o público em geral, o certo é que o papel da divulgação científica vem evoluindo ao longo do tempo [24]. O reconhecimento de que o processo de divulgar a ciência implica em uma transformação da linguagem científica com vistas a sua compreensão pelo público é um dos aspectos mais relevantes às problematizações relacionadas ao ‘por que’ e ao ‘como’ divulgar [25].

Como salienta Fahnestock [26], há mudança de informação de um discurso para outro. A linguagem deve ser adaptada de acordo com o público ao qual se destina. Nos discursos ditos primários, ou seja, nas ‘comunicações científicas’, há enfaticamente o recurso de persuasão do leitor à relevância e legitimação dos novos conhecimentos apresentados [27]. Os textos de ‘divulgação científica’, por sua vez, são prioritariamente epídóticos, isto é, possuem a finalidade de celebrar, e não de validar as informações [26].

De acordo com Massarine e Moreira [27, p. 1], de modo geral pode-se distinguir três discursos: “os discursos científicos primários (escritos por pesquisadores para pesquisadores), os discursos didáticos (como os manuais científicos para ensino) e os da divulgação científica”. A despeito dessa distinção, a comunicação científica, entendida como o discurso primário, quando devidamente retrabalhada, pode contribuir no processo de divulgação científica. Inclusive, “em muitos casos, citações literais de material ou reprodução de falas identificadas com a comunicação científica são repassadas ao público leigo” [13, p. 6]. Podem ser discernidas várias estratégias de alteração na linguagem utilizada no processo de mudança de um discurso para outro, dentre elas a utilização de ilustrações.

As ilustrações, no âmbito dos diferentes discursos, têm sido utilizadas em número significativamente maior ao longo do tempo [27]. Elas são importantes

recursos para a comunicação científica, como defendia Boyle, e para a divulgação científica, podendo apresentar distintas funções nos textos e servindo indiscutivelmente como um recurso de visualização. Também desempenham um papel fundamental na constituição das idéias científicas e na sua conceitualização [28]. Há, ainda, um consenso entre vários autores sobre o fato de as imagens desempenharem importante papel pedagógico no processo de ensino-aprendizagem [29]. Nesse sentido, apresenta-se a seguir uma análise das ilustrações exibidas em materiais de divulgação científica sobre a teoria da luz e cores de Newton.

A amostra de livros para a apreciação levou em conta distintas formações dos autores. Dessa forma, foram analisados os seguintes livros: *Newton: a Órbita da Terra em um Copo d'Água* [30], de Eduardo Campos Valadares; *Isaac Newton o Último Feiticeiro: uma Biografia* [31], de Michael White, e *Os Grandes Experimentos Científicos* [32], de Michel Rival. Valadares, autor de um dos livros, é doutor em ciências. Rival é especialista em questões científicas e técnicas e White é jornalista de divulgação científica.

As ilustrações foram classificadas à luz de quatro categorias – contextualização histórica, iconicidade, relação com o texto principal, função da imagem – desenvolvidas com base em Perales e Jiménez [33]: 1) por meio da *contextualização histórica*, procurou-se analisar se houve contextualização da ilustração, ou apenas do assunto; 2) a *iconicidade*, que se refere à complexidade da ilustração, foi analisada sob quatro vieses: imagem naturalística (possuem detalhes circunstanciais que não são visíveis, por exemplo, em representações mais esquemáticas), esquemática (apresenta uma representação, mas dispensa detalhes) ou figurativa (é simplesmente simbólica); 3) na *relação com o texto principal*, buscou-se verificar se existe um vínculo explícito entre a ilustração e o texto ou se cabe ao leitor fazer a ligação entre eles; 4) a *função da imagem*, na sequência do discurso apresentado, foi classificada como decorativa (motivacional), representativa (ilustrativa), organizacional (descritiva, apresenta aspectos circunstanciais) ou explicativa. Além disso, analisou-se a complexidade da linguagem utilizada nessa relação.

O livro *Os Grandes Experimentos Científicos* [32] apresenta, cronologicamente, alguns experimentos desenvolvidos na física, desde o século III a. C., com Arquimedes, por exemplo, até a década de 1958, com as ondas gravitacionais. No período que correspondente ao ano de 1672, o

livro discute brevemente o experimento crucial de Newton.

O título da seção é “Experimentum crucis” e o autor apresenta uma tradução literal para o termo: ‘experimento decisivo’. O livro inclui quatro páginas sobre o assunto e, embora sucinto, exhibe pequenos trechos originais. Ademais, veicula ao discurso duas imagens. A primeira delas, refere-se ao primeiro experimento descrito por Newton no artigo de 1672 [5] (ou o terceiro na *Óptica*), em que constata a forma oblonga do espectro. A segunda ilustração é a do experimento crucial, a mesma apresentada por Newton na *Óptica* e já exibida na seção anterior deste artigo [Fig. 2], ou seja, é uma ilustração primária, mas o livro não salienta isso, não contextualiza historicamente a imagem, descrevendo apenas que: “Essa foi a ‘experiência decisiva’, o experimentum crucis” [32, p. 27].

A ilustração, assim como está presente na obra original de Newton, é esquemática e sua função na sequência do livro de Rival pode ser classificada tanto como representativa (ilustrativa), quanto organizacional, já que o livro apresenta uma explicação do esquema experimental. Desta forma, há uma relação explícita entre a imagem e o texto principal que a descreve.

Como antes, Newton dispôs um prisma ABC atrás de um diafragma F, isolando um feixe de luz solar, e produziu assim um espectro na tela DE. Essa tela tinha um orifício G e era seguida de outra tela também com um orifício. Esses dois diafragmas isolavam um feixe luminoso pertencente a uma parte estreita do espectro que vinha iluminar um segundo prisma abc. Fazendo girar o prisma ABC, o segundo prisma abc recebia sucessivamente e sob uma incidência crescente os raios pertencentes às diferentes partes do espectro, e projetava sobre uma tela MN situada atrás dele as “imagens” de diferentes cores, ordenadas entre M e N como no espectro inicial [32, p. 27].

Neste trecho, pode-se perceber algumas mudanças em alguns termos utilizados na descrição, em relação a maneira com que o próprio Newton apresenta. As “imagens” de diferentes cores, na realidade, refere-se à luz refratada. Ademais, essa descrição está muito mais sucinta em relação a apresentada na *Óptica*, embora descreva muito bem o experimento.

Ao final da seção, Rival salienta que com as duas experiências, aquela em que Newton constata a forma oblonga do espectro e a do experimento crucial, pode-

se concluir que elas apresentam: “por si mesmas: ‘os raios de luz que diferem em cor também diferem em grau de refrangibilidade’; e ‘a luz do Sol é composta de raios diferentemente refrangíveis’” [32, p. 28].

Todavia, essas duas proposições são demonstradas por Newton com uma série de experimentos, inclusive variantes fundamentais do *experimentum crucis*. Nenhum experimento *per se* apresenta uma conclusão sem que haja reflexão sobre ele. As observações não são neutras, o modo de interpretar um mesmo resultado experimental pode diferir de acordo com os pressupostos teóricos de cada estudioso. Isso, de fato, ocorreu com o *experimentum crucis*, por exemplo, com as objeções de Hooke e de alguns jesuítas, como Pardies, Linus e Lucas [10]. Por fim, o livro evidencia que o experimento crucial serviu para *demonstrar* a dispersão da luz branca, e que os dois experimentos descritos permitiram *evidenciar* duas proposições de Newton, que estão descritas no trecho acima.

O livro *Isaac Newton o Último Feiticeiro: Uma Biografia* [31] apresenta longas páginas biográficas sobre Newton e discorre sobre diferentes aspectos de sua vida e seus trabalhos. No capítulo 8, intitulado “Contendas”, o autor aborda o *experimentum crucis*.

Em 24 páginas de contextualização histórica acerca do assunto, o autor apresenta vários trechos de fonte primária e três ilustrações. A primeira delas é um diagrama, ou esquema, do experimento crucial (Fig. 4). A imagem é apenas ilustrativa e não apresenta uma relação explícita com o texto principal; fica a cargo do leitor relacionar a imagem com o texto. A segunda imagem mostra a luz de um prisma através de uma lente, ilustrativa somente, e a última exhibe a produção de cores isoladas com a utilização de um disco dentado.

O experimento crucial é apresentado e descrito de forma muito simplista, inicialmente:

Usando pouco mais que alguns pedaços de cartão e dois prismas de vidro, a primeira destas novas experiências, depois conhecida como *experimentum crucis*, foi o primeiro e tardio sinal que o mundo científico teve de seu gênio como experimentador, porque era tão bela em sua simplicidade quanto eficaz para encapsular a teoria de Newton [31, p. 163].

Nesse trecho, vê-se claramente que o autor não menciona, assim como também não o faz Rival, que o próprio Newton

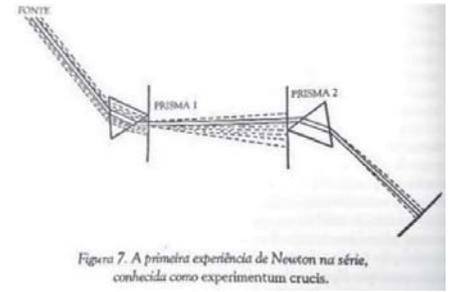


Figura 7. A primeira experiência de Newton na série, conhecida como experimentum crucis.

Figura 4: Ilustração do *experimentum crucis* e sua legenda, apresentada por White [31].

denominou um de seus experimentos de crucial. Aliás, o experimento não revela a genialidade newtoniana por ser simples e encapsular a sua teoria, tanto que houve inúmeras discussões acerca dos resultados e explicações por ele apresentados, gerando inclusive consideráveis controvérsias. Além disso, o autor apresenta o experimento como se Newton não tivesse pensado nos componentes de sua composição, como se o tivesse desenvolvido com meros materiais encontrados aleatoriamente em seu ‘laboratório’.

White salienta, especificando melhor em que consistia o experimento crucial newtoniano, que:

A primeira das novas experiências (o *experimentum crucis*) fazia mais uma vez a luz do sol passar por um prisma. Partes do espectro produzido passavam então por um minúsculo orifício num cartão colocado a pouca distância. Assim Newton pôde fazer com que apenas uma das cores do espectro passasse pelo orifício. Essa luz atravessava então o orifício de um outro cartão e depois um segundo prisma, para finalmente cair em um cartão branco. Newton descobriu que se só deixasse a luz de uma das extremidades do espectro (a luz azul) passar pelo sistema, ela seria muito mais refratada do que se usasse a luz vermelha [31, p. 164].

Essa descrição está mais detalhada do que o trecho anterior. Há algumas palavras que foram introduzidas, possivelmente a fim de deixar mais claros os materiais utilizados na experiência original. Fazendo um contraste com a *Óptica*, Newton ressalta que usou anteparos; White, por sua vez, os chama de cartões.

O autor expõe alguns variantes desse experimento, que foram importantíssimos para a consolidação de duas das proposições sobre luz e cores apresentadas na *Óptica*. Além disso, enfatiza que a demonstração de como a luz é refratada ia contra a visão dominante na época, como salienta também Rival. Não obstan-

te, não era a demonstração em si, mas a explicação de Newton que diferia de concepções teóricas daquele período histórico acerca do fenômeno.

O livro *Newton: a Órbita da Terra em um Copo d'Água* [30], assim como White, discorre sobre os mais diversos estudos e trabalhos de Newton, tanto na óptica, na mecânica e na alquimia como seus estudos bíblicos, por exemplo. No capítulo quatro, "Invenção do Cálculo, Gravitação e Experiências com a Luz", o autor apresenta uma subseção denominada "Experiências com prismas".

De modo muito sucinto, Valadares descreve a experiência em que Newton constata a forma alongada do espectro e, a seguir, diz que ele "concebeu um novo experimento que demandava um segundo prisma (...) demonstrando assim que a luz branca era, de fato, composta" [30, p. 64-65]. Esse trecho está se referindo ao *experimentum crucis*. Todavia, o autor em nenhum momento apresenta esse termo. Por vezes, utilizar o termo sem contextualizar seu significado pode ser um problema maior, talvez, do que não explicitá-lo, pois nesse caso caberia ao leitor interpretá-lo. Prosseguindo, Valadares frisa que:

Com seus experimentos, Newton derubou o dogma da luz branca 'pura' que persistia por mais de dois mil anos. Além disso, ele demonstrou que cada componente da luz branca, ao incidir em um prisma, é desviado de um ângulo diferente em relação a uma reta perpendicular à superfície do prisma no qual a luz incide (veja figura), fenômeno conhecido como dispersão [30, p. 65-66].

A ilustração apresentada (Fig. 5) tem uma relação explícita com o texto principal, no entanto o autor não a descreve. A imagem é meramente figurativa e somente assume significado com sua legenda. Ela não parece adquirir sentido na sequência do texto, pois mostra diversos experimentos sem descrição e/ou explicação.

Com esse tipo de ilustração, fica a cargo do leitor decifrar que uma flecha, por exemplo, indica a incidência de um raio de luz e que o desenho de um triângulo simboliza um prisma. Ou seja, por não haver descrição da imagem ao longo do texto principal, há uma linguagem em códigos implícita na mesma, que dificulta a compreensão do leitor e relega a imagem à mera função de ilustrar experimentos.

Cabe apontar que Valadares, na capa de seu livro, apresenta uma ilustração decorativa (Fig. 6) da refração da luz por um prisma de vidro, notavelmente

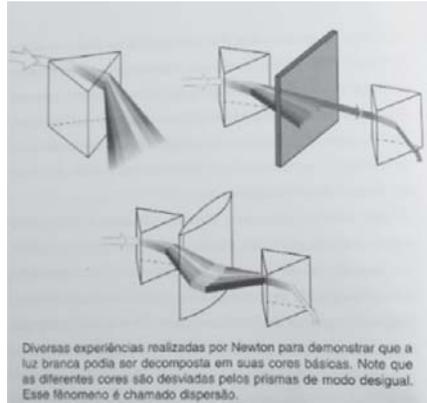


Figura 5: Diversos experimentos desenvolvidos por Newton, apresentados por Valadares [30].

fazendo alusão aos estudos newtonianos.

De modo geral, nas três obras analisadas verifica-se a tentativa dos autores de contextualizar os estudos de Newton sobre luz e cores. Notam-se elementos comuns apresentados na abordagem histórica, que indicam que novas explicações sobre o fenômeno das cores estavam surgindo com os experimentos newtonianos. No entanto, nenhuma delas contextualiza a imagem em si, tanto do experimento crucial, que é apresentada por Rival e White, quanto das demais ilustrações presentes em todas as obras.

Como já foi salientado, nos estudos ópticos desenvolvidos no século XVII e XVIII a ilustração exerceu um papel relevante no âmbito da *comunicação científica*. Já nos livros de divulgação científica analisados, o discurso em torno do recurso pictórico é modificado. As ilustrações apreciadas, quando inseridas na sequência de cada texto, embora algumas sejam retiradas da própria *Óptica*, perdem o rigor científico e apresentam, nitidamente, falta de aprofundamento de detalhes específicos quanto a sua descrição. Todavia, pode-se perceber nas três obras, muitas vezes, que essas perdas são compensadas pela abrangência e pela visão global com que o tema é abordado.

Vê-se, como salienta Fahnestock [26], que os textos epidícticos, aqueles da divulgação científica, priorizam os resultados científicos e não o processo pelo qual o conhecimento foi desenvolvido. Já nos originais de Newton, percebe-se um esforço maior em discorrer sobre o processo da construção do conhecimento. Embora Newton priorize uma reconstrução dos seus estudos, ou seja, enfatize os seus resultados, é nítido o seu envolvimento com diversos experimentos e hipóteses que o auxiliaram.

## Newton e a divulgação científica: implicações para o ensino

Historicamente, a *comunicação científica* e a *divulgação científica* vêm crescendo dialogando de modo a consolidar uma intensa relação. Atualmente, a comunicação científica pode ser considerada fonte histórica de jornalistas e divulgadores para o desenvolvimento dos discursos da divulgação científica [13]. Nas obras analisadas, percebe-se claramente o uso de fonte primária.

Não obstante, apesar desse profícuo diálogo, não se pode obliterar que os discursos são evidentemente distintos, de acordo com o objetivo, a audiência, a situação [26]. A divulgação científica busca, prioritariamente, permitir que as pessoas leigas possam entender, ainda que parcialmente, o mundo em que vivem e as novas 'descobertas' científicas; em síntese, proporcionam a exteriorização da ciência [34].

Nesse sentido, o apelo visual é importante. Todavia, a ilustração é um recurso que pode penalizar a precisão das informações [13] ou, ainda, disseminar uma ideia equivocada de ciência. Como salientado, no século XVII Boyle priorizava o uso de ilustrações desde que fossem seguidas de descrições, de discursos que apresentassem aspectos circunstanciais. A função das imagens era de propiciar às testemunhas virtuais a reprodução do experimento; levar o leitor mentalmente para a cena do 'laboratório' [16]. Nos estudos de Newton, veem-se inúmeras imagens, sempre com descrições e comentários específicos, como no caso do experimento crucial.

Nos livros analisados, a imagem tem a função meramente ilustrativa, e mesmo que alguns autores busquem descrevê-las, muitas vezes passa-se a visão de que o experimento, por si só, apresenta uma 'verdade' científica. Além disso, nas entre-

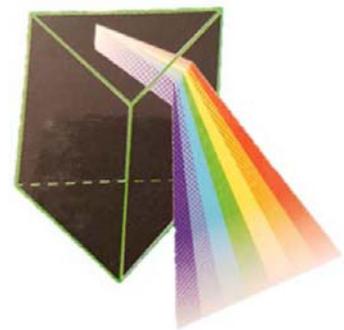


Figura 6: Uma das ilustrações da capa do livro *Newton: a Órbita da Terra e um Copo d'Água*.

linhas do discurso científico há implicitamente a ideia da construção do conhecimento por meio de um empirismo ingênuo. Assim, quando levado ao ensino de ciências, por exemplo, eles podem contribuir para a propagação de uma ciência unicamente empírica, com observações neutras, e que um dado experimental representa uma corroboração indiscutível. Por isso a necessidade de se tomar os devidos cuidados quando materiais de divulgação científica, ou uma ilustração não contextualizada, por exemplo, são trabalhados em sala de aula. Além disso, embora se reconheça que há distintos objetivos entre as obras originais e os livros de divulgação científica, o uso de imagens primárias em contextos diferentes, que por vezes não as contextualizam, distorcem o próprio sentido da natureza da imagem. Na filo-

sofia de Boyle, por exemplo, elas transportariam o leitor ao momento de realização do experimento, além de contribuir para sua replicação. Este último, por certo, não foi o foco das obras analisadas.

Não obstante, essas colocações não invalidam as obras que simplesmente traduzem o senso comum das pessoas em geral e visam disseminar a ciência para um público mais leigo. Diversos autores têm sugerido atividades didáticas que valorizem o contato dos alunos com diferentes tipos de textos, inclusive os de divulgação científica, que expressam uma variedade de formas de argumentação e pontos de vista [35]. Muitos benefícios são apontados por esse contato ampliado, dentre eles o acesso a uma maior diversidade e divergência de informação, habilidades de leitura e formas de argumentação

[36], além da reflexão sobre a ciência, que pode e deve ser estimulada.

Afinal, Newton não pretendia apenas corroborar ou refutar a teoria vigente, mas sim buscar entender e explicar uma anomalia: a forma oblonga da luz solar ao ser refratada por um prisma de vidro. Nesse sentido, como há mudança de um discurso para outro, os materiais de divulgação científica, quando levados ao uso didático, reforçam a importância do papel do professor como agente contextualizador, reflexivo e crítico. O docente pode propiciar uma maior compreensão do complexo episódio newtoniano com a luz e cores, a função das ilustrações para a comunicação científica e, ainda, seu envolvimento frutífero com a experimentação, aspectos esses não explorados, devidamente, em muitos materiais de divulgação científica.

## Rerefências

- [1] A.C. Raicik, *Experimentos Exploratórios e Experimentos Cruciais no Âmbito de uma Controvérsia Científica: A Eletricidade Animal como Estudo de Caso*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, em andamento.
- [2] C. Dumitru, *Society and Politics* **7**, 45 (2013).
- [3] S. Shapin, *Social Studies of Science* **14**, 481 (1984).
- [4] A. Davyt e L. Velho, *História, Ciências, Saúde Manguinhos* **7**, 93 (2000).
- [5] I. Newton, *Philosophical Transactions* **6**, 3075 (1672).
- [6] I. Newton, *Óptica* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002).
- [7] I.B. Cohen e R.S. Westfall, *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários* (Contraponto, Rio de Janeiro, 2002).
- [8] I. Newton, *Philosophical Transactions* **7**, 4014 (1672).
- [9] J.S. Granés, *La Gramática de una Controvérsia Científica: El Debate Alrededor de la Teoría de Newton sobre los Colores de la Luz* (Editorial Unibiblos, Bogotá, 2001).
- [10] J.S. Granés, *Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción* (Pro-Offset Editorial, Bogotá, 2005).
- [11] A.T. Assis, *Óptica: Tradução, Introdução e Notas* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002).
- [12] C.C. Silva e R.A. Martins, *Ciência & Educação* **9**, 53 (2003).
- [13] W.C. Bueno, *Inf. Inf.* **15**, 1 (2010).
- [14] T.C.M. Forato, *Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* **1**, 29 (2008).
- [15] J.F. Fulton, *Isis* **18**, 77 (1932).
- [16] S. Shapin, *Nunca Pura: Estudos Históricos de Ciência Como Se Fora Produzida Por Pessoas Com Corpos, Situadas no Tempo, no Espaço, na Cultura e na Sociedade e Que Se Empenham por Credibilidade e Autoridade* (Fino Traço, Belo Horizonte, 2013).
- [17] R.M. Sargent, *Studies in History and Philosophy of Science* **20**, 19 (1989).
- [18] J.J. Renaldo, *Journal of the History of Ideas* **37**, 689 (1976).
- [19] I. Newton, *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* (Alianza Editorial, Madrid, 1987).
- [20] A.K.T. Assis, in *Mesa Redonda do II Encontro da Ciência, Leitura e Literatura*, Campinas, 1997.
- [21] C.C. Silva e R.A. Martins, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **18**, 313 (1996).
- [22] L.O.Q. Peduzzi, *A Relatividade Einsteiniana: Uma Abordagem Conceitual e Epistemológica* (Publicação interna, Florianópolis, 2015).
- [23] R.S. Westfall, *Isis* **53**, 339 (1962).
- [24] S. Albagli, *Ci. Inf.* **25**, 396 (1996).
- [25] M. Marandino et. al., in *Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência*, Bauru, 2003.
- [26] J. Fahnestock, in *Terra Incógnita: A Interface entre Ciência e Público*, editado por L. Massarani, et al. (Vieira & Lent, Rio de Janeiro, 2005).
- [27] L. Massarine e I.C. Moreira, *MultiCiência: Linguagem da Ciência* **4**, 1 (2005).
- [28] I. Martins, G. Gouvêa e C. Piccinini, *Cienc. Cult.* **57**, 38 (2005).
- [29] H.C. Silva et al., *Ciência e Educação* **12**, 219 (2006).
- [30] E.C. Valadares, *Newton: A Órbita da Terra em um Copo D'Água* (Odysseus Editora, São Paulo, 2003).
- [31] M. White, *Isaac Newton o Último Feiticeiro: Uma Biografia* (Record, Rio de Janeiro, 2000).
- [32] M. Rival, *Os Grandes Experimentos Científicos* (Jorge Zahar Ed, Rio de Janeiro, 1997).
- [33] F.J. Perales e J.D. Jiménez, *Enseñanza de las Ciencias* **20**, 369 (2002).
- [34] H.C. Silva, *Ciência e Ensino* **1**, 53 (2006).
- [35] L.N.A. Ferreira, *Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* **5**, 3 (2012).
- [36] I. Martins, M. Cassab e M.B. Rocha, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **1**, 1 (2001).

## Notas

<sup>1</sup>Neste artigo os termos ilustração, imagem, figura e desenho são utilizados como sinônimos.

<sup>2</sup>Traduções comentadas do artigo de Newton foram realizadas por Silva e Martins [21] e por Granés [9].

**Do encantamento ao horror científico:  
As pineladas de Joseph Wright  
em *The orrery* e em *The air pump***



.....  
**Letícia Jorge**

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: leticiajorgeifsc@gmail.com

**Luiz O.Q. Peduzzi**

Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: luizpeduzzi@gmail.com  
.....

Desenvolve-se uma história em quadrinhos (HQ) com intuito de discutir o papel dos experimentos através das telas *A philosopher giving that lecture on the orrery* (1766) e *An experiment on a bird in the air pump* (1768) de Joseph Wright. O enredo, apoiado em princípios básicos da aprendizagem significativa de Ausubel e nas técnicas de Eisner e McCloud, voltado ao estudante de física em formação, desenvolve-se por meio da história de um professor que acaba sendo transportado para outra dimensão espacial onde debate com o personagem daquele local acerca das pinturas de Wright na perspectiva de desvendar as possíveis mensagens sobre ciência que as mesmas tentam comunicar. À luz da HQ e da temática envolvida, espera-se contribuir para a disseminação de uma educação em consonância com reflexões filosóficas contemporâneas e trazer possibilidades para se pensar a ciência, as demais áreas do saber e seus aspectos a partir de novas perspectivas.

**Introdução**

Um interesse crescente, embora em número ainda reduzido, de pesquisadores e educadores por estudos que abordam a história e filosofia da ciência, bem como a natureza da ciência, a partir de representações imagéticas para a educação científica tem sido constatado em vários trabalhos [1-3]. Face a essa perspectiva, e visando contribuir para o incremento de novos estudos nessa área de investigação, utilizam-se duas obras de Joseph Wright para debater o papel dos experimentos no empreendimento científico à luz das concepções do filósofo da ciência Norwood Hanson [4].

As discussões desenrolam-se por conta do exame de como fatores externos, relacionados ao contexto da ciência vigente no período da criação de duas pinturas – *A philosopher giving that lecture on the orrery in which a lamp is put in place of the sun* (Um filósofo dando uma aula no planetário na qual uma lâmpada é posta no lugar do Sol – 1766) e *An experiment on a bird in the air pump* (Um experimento com um pássaro na bomba de ar – 1768) –, influenciaram a produção de Joseph Wright no ato da elaboração de suas obras e que possíveis mensagens de ciência as pinturas tentam passar ao contemplador.

Para tanto, elaborou-se um módulo de ensino com intuito de discutir certas características relacionadas à construção do conhecimento científico por meio da aproximação entre arte e ciência. O módulo<sup>1</sup> “Desbravando os sete mares! Ops,... Desbravando três pinturas através de uma história em quadrinhos: possíveis relações

entre arte e história e filosofia da ciência”, voltado a alunos de cursos de física, incorpora diversos componentes, sendo um deles uma história em quadrinhos (HQ) – “Do encantamento ao horror científico: as pineladas de Joseph Wright em *The orrery* e em *The air pump*” [parte 2] –, a qual é abordada no presente artigo.

“Por integrar imagem e texto de modo sintético, a linguagem das HQs tem sido um recurso útil para explicar temas científicos complexos” [5, p. 1192].

A inclusão dos quadrinhos no PNBE (Programa Nacional Biblioteca da Escola e as referências nos PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais) representam um avanço na educação, pois são um incentivo a mais para que os docentes aproveitem o potencial desse recurso didático facilitador de interdisciplinaridade, contextualização e leituras ricas em significados. [6, p. 897-898]

Nesse contexto, trabalha-se o enredo da HQ a partir de um diálogo fictício que contrasta o discurso de um guia turístico, acerca da mensagem do pintor, com o repertório epistemológico-conceitual de um professor universitário – com interesse pela arte e pela ciência – sobre as observações a respeito das duas pinturas de Joseph Wright.

**O uso de representações imagéticas por parte de educadores e pesquisadores na educação científica é um fato já constatado em vários trabalhos. Obras de Joseph Wright foram utilizadas para debater o papel dos experimentos no empreendimento científico à luz das concepções do filósofo da ciência N. Hanson**

**Nos rabiscos, a existência de fundamentos: os caminhos trilhados para a elaboração e estruturação da história em quadrinhos**

A HQ intitulada “Do encantamento ao horror científico: as pineladas de Jo-

seph Wright em *The orrery e The air pump*” faz parte de um conjunto de histórias independentes, sobre arte pictórica e ciência, incorporadas à *Imaginarium*<sup>2</sup> [7, p. 3]<sup>3</sup>. Para a criação da HQ foram utilizadas teorias, conceitos e técnicas apresentadas nas obras de McCloud [8] e de Eisner [9]. De modo a guiar a organização e a apresentação do conteúdo-tema (roteiro/enredo) da HQ, empregaram-se princípios básicos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel [10-11].

Eisner [9] considera as histórias em quadrinhos uma forma de leitura, admitindo-as como uma atividade de percepção. Essa leitura ocorre a partir da associação entre palavras e imagens que, junto com painéis, balões e outros elementos, formam a estrutura complexa que compõe o vocabulário da linguagem chamada HQ. Em contraste com a fala de Will Eisner, McCloud [8, p. 47] pondera: “as [...] “boas” histórias são aquelas que combinam essas formas diferentes de expressão de uma maneira harmoniosa”.

A linguagem das HQs, assim, apresenta como propriedade a superposição de características específicas da arte gráfica (como pinceladas, simetrias, noções de perspectiva, entre outras) e de características da literatura (como enredo, gramática, sintaxe etc.). Dessa maneira, a leitura de HQs passa, então, a se constituir em uma convergência entre um ato de percepção imagética e de reforço intelectual. Para Eisner [9, p. 8], quando essa união de aspectos gráficos e literários é usada consecutivamente para narrar ou expressar ideias, o que se constitui numa forma literária da linguagem dos quadrinhos, e, junto a isso, é acompanhada de sua aplicação disciplinada, tem-se como resultado o que o mesmo denominou de “gramática da arte sequencial”.

Para o entendimento da arte sequencial, é preciso compreender algumas estruturas básicas inerentes aos quadrinhos [8-9]. Por exemplo, deve-se avaliar como se intercala o tempo-espaço – “timing” – na medida em que a narrativa se desenrola; como se inserem os “balões de fala, de pensamento, os letreiros etc.”; quais os modos de se capturar ou encapsular o movimento de certas imagens (como pessoas e coisas) em segmentos – os chamados “quadros ou painéis” – mais qualificados, e quais as maneiras adequadas de atribuir destaque ora à linguagem escrita, ora à imagética. O conhecimento desses e de outros

**Existem diversas e fascinantes formas de contar histórias e de representá-las. Essa variedade ocorre por meio da criatividade dos quadrinhistas e, também, por intermédio de metodologias empregadas para a elaboração de HQs**

aspectos é condição necessária para a eficácia da HQ na propagação de sua mensagem primordial.

É singular que existam diversas e fascinantes formas de contar histórias e desenvolver ideias. Essa variedade ocorre por meio da criatividade dos quadrinhistas e, também, por intermédio de metodologias empregadas para a elaboração de HQs. McCloud [8] e Eisner [9], nesse caso, tornam-se ótimos exemplos. Em seus estudos, sistematizam e propõem várias formas e métodos de desenvolver e de se utilizar as histórias em quadrinhos e de como as mesmas

podem oferecer um norte positivo para o uso da linguagem visual e verbal.

Para HQs voltadas ao ensino, o entendimento a respeito do funcionamento das estruturas integradas à arte sequencial, brevemente aludidas acima, deve ser aprofundado de modo mais qualificado, na expectativa de potencializar discussões em torno do trabalho e evitar possíveis compreensões errôneas dos conceitos abordados por meio da linguagem.

Nesse sentido, faz-se necessário apropriar-se de questões relativas à aprendizagem significativa (AS), especificamente a proposta por Ausubel [10-11]. A AS é um processo por meio do qual um novo conhecimento se relaciona de maneira “não arbitrária” e “substantiva” (não-literal) à estrutura cognitiva do sujeito. É no curso da aprendizagem significativa que o sentido lógico do material de aprendizagem se transforma em conceito

psicológico para o sujeito. Em situações como essa, emergem os significados dos materiais potencialmente significativos e o conhecimento prévio se modifica pela construção de novos significados.

Ausubel [11, p. 147] expõe, ainda, que a composição de atributos relevantes da estrutura cognitiva para fins pedagógicos sobrevém de duas maneiras: “substantivamente”, com propósitos organizacionais e integrativos, usando os conceitos e proposições unificadores do conteúdo da matéria de ensino que têm maior poder explanatório, inclusividade, generalidade e relacionabilidade nesse conteúdo, e “programaticamente”, empregando princípios programáticos para ordenar sequencial-

mente a matéria de ensino, respeitando sua organização e lógica internas e planejando a realização de atividades práticas. Quanto ao último modo, Ausubel [11, p. 152] propõe quatro princípios programáticos do conteúdo: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação.

A “diferenciação progressiva” visa, no início da instrução, a apresentação de ideias e conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo da matéria a ser ensinada, para que, posteriormente a isso, possa ser progressivamente diferenciada em termos de detalhe e especificidade [11].

Por outro lado, a programação do conteúdo deve não só proporcionar a “diferenciação progressiva”, mas também explorar, explicitamente, relações entre conceitos e proposições, chamar atenção para diferenças e similaridades relevantes e reconciliar inconsistências reais ou aparentes. Isso deve ser feito para se atingir o que Ausubel chama de “reconciliação integrativa”, uma rede de conceitos interligados e necessários à instrução.

Quanto à “organização sequencial”, atribui-se a ela a função de sequenciar os tópicos, ou unidades de estudo, da maneira mais coerente possível (observados os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa) com as relações de dependência naturalmente existentes na matéria de ensino.

O princípio da “consolidação”, por sua vez, é aquele segundo o qual a insistência no domínio do que está sendo estudado, antes que novos materiais sejam introduzidos, assegura contínua prontidão na matéria de ensino e alta probabilidade de êxito na aprendizagem sequencialmente organizada. O fato de Ausubel chamar atenção para a consolidação é coerente com sua premissa básica de que o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é o conhecimento existente na estrutura cognitiva do sujeito, ou seja, o que ele já sabe. Contudo, é preciso levar em conta que a aprendizagem significativa é progressiva.

Em síntese, é indispensável uma análise prévia daquilo que se vai ensinar. Não é só o que está nos programas, nos livros e em outros materiais educativos do currículo que é relevante. Além disso, a ordem em que os principais conceitos e ideias da matéria de ensino aparecem nos materiais educativos e nos programas muitas vezes não é a mais adequada para

facilitar a interação com o conhecimento prévio do aluno. A análise crítica da matéria de ensino deve ser feita pensando no sujeito. De nada adianta o conteúdo ter boa organização lógica, cronológica ou epistemológica e não ser psicologicamente aprendível. É precisamente nesse sentido que se busca incorporar os princípios programáticos do conteúdo, a partir da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, ao enredo da história em quadrinhos. Sendo assim, apresenta-se e descreve-se a HQ, a seguir.

### Na HQ, ciência, pinturas, horror e encantamento: contar-se uma prévia do enredo

No enredo, evidencia-se a história de um professor – interessado em oportunizar o intercâmbio entre arte e ciência – que, ao término de uma de suas aulas, dirige-se a uma parada de ônibus, na expectativa de chegar logo a seu destino final. No ônibus, sentado junto a tantos outros, o professor, imerso em seus próprios pensamentos, começa a divagar sobre possibilidades de inserir novas ferramentas com potencial didático que pudessem lhe auxiliar a atuar de maneira dife-

renciada, a ter uma visão e postura mais plural e inventiva, em sua *práxis* pedagógica.

Porém, seus pensamentos logo são interrompidos por uma escuridão inesperada. O ônibus está se deslocando por um túnel sem iluminação aparente (Fig. 1).

Após atravessar o túnel, o professor percebeu que o ônibus continuava a se mover em um espaço inexistente – como que em uma tela em branco, pronta para ser pintada – e de alguma maneira, dentro do veículo, não havia mais ninguém, exceto ele próprio e o condutor do ônibus.

O professor, com intuito de compreender a situação na qual se encontra, aproxima-se do motorista – o qual se apresenta como sendo uma espécie de guia turístico (Fig. 2), “destinado a prestar toda e qualquer informação” [7]. Entretanto, o guia não fornece nenhum indicativo de lugar, talvez pelo fato de o interesse do professor, naquele momento, não se deter em exatas localizações, mas sim em como poderia desenvolver uma prática pedagógica cativante e proporcionadora de significados que envolvesse questões relativas a outras esferas do saber. O professor poderia pensar nas relações entre arte e ciência, por exemplo. Daí surge o argumento para a aparição das obras “*A philosopher giving that lecture on the orrery in which a lamp is put in place of the Sun*” e “*An experiment on a bird in the air pump*”, no enredo da HQ, ser repentina: expressa um desejo intrínseco ao professor de buscar relações que se estendam para além das fronteiras disciplinares. Resulta relevante destacar que tal descrição, aliás implícita no roteiro, fica a cargo da imaginação do leitor. “Se o autor das histórias em quadrinhos quer restringir a narrativa ao que ele próprio construiu, o mesmo define os quadros sem brechas para dúvidas. Por outro lado, pode deixar lacunas para que o leitor faça o fechamento em seu pensamento” [12, p. 42-43].

De toda forma, e a partir disso, o guia turístico propõe, de modo incisivo (Fig. 2), o desvendamento das possíveis mensagens sobre ciência que as duas obras do pintor Joseph Wright intentam comunicar.

O guia também procura, através das pinturas, direcionar e estimular o desenvolvimento do espírito crítico do professor a respeito da inexistência de experimentos sem pressupostos teóricos e da relevância da coletividade no empreendimento científico. Isso ocorre devido ao guia turístico “saber” que o conhecimento do professor sobre esse assunto pode ser insuficiente.

Assim, o guia turístico explicita ao professor que, para uma análise mais con-

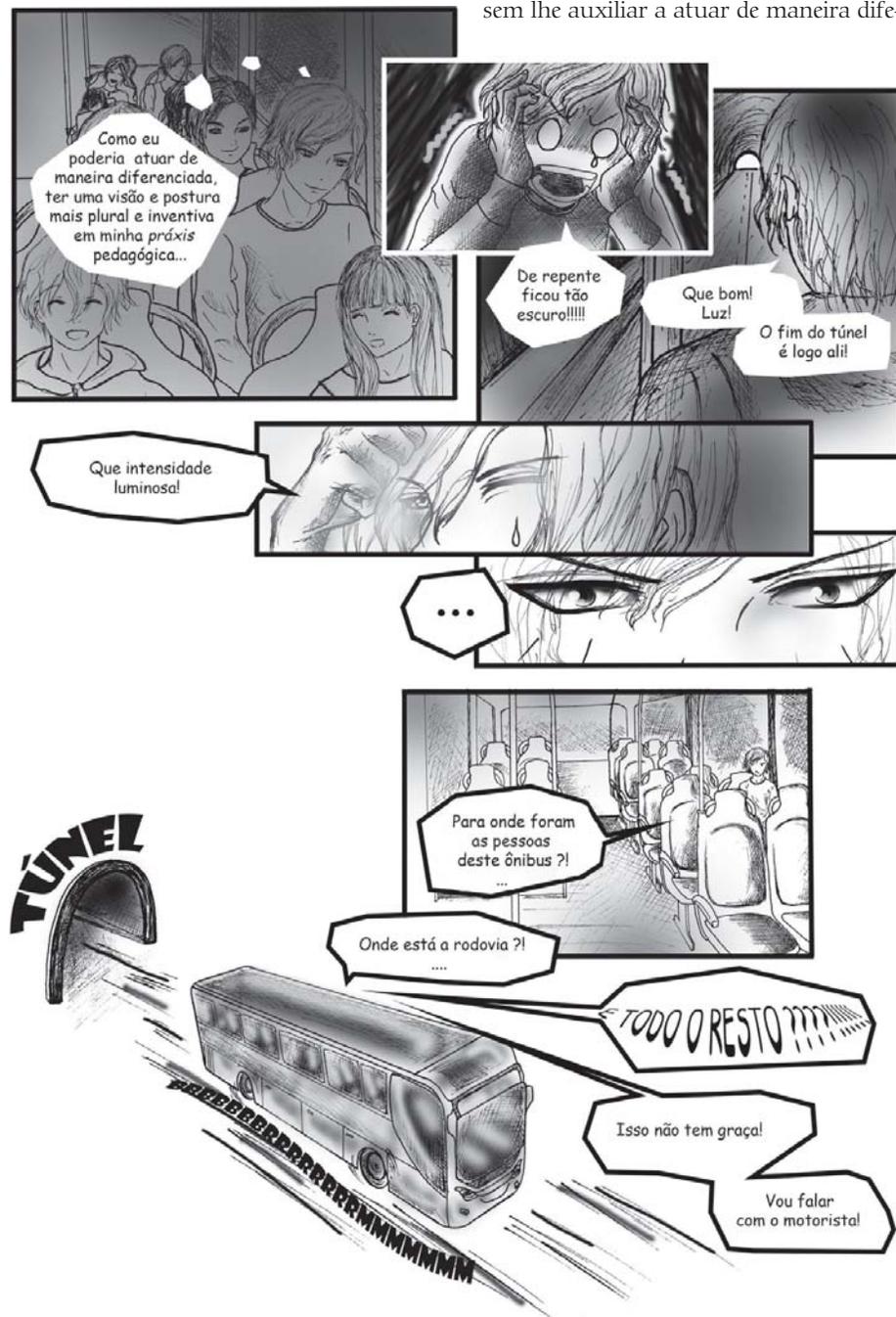


Figura 1: Página 3 da história em quadrinhos “Do encantamento ao horror científico: as pinceladas de Joseph Wright em *The orrery* e em *The air pump*”<sup>4</sup>.



Figura 2: Guia turístico apresentando-se ao professor. Painéis presentes na página 5 da HQ.

dizente das pinturas e de suas respectivas mensagens sobre ciência, há a necessidade de se estender a atenção, primeira e brevemente, para a vida de Joseph Wright e para o contexto histórico em que estava circunscrito.

### **Pinelando experimentos, considerando contextos: a história de Joseph Wright desde o “começo”**

No século XVIII – também conhecido como o “Século das Luzes”, o “Século da Razão”, a “Era do Iluminismo”, a “Era da Ilustração”, o “Século Europeu” ou “O Grande Século” –, a Europa foi palco de profundas transformações, fruto de uma evolução mental e intelectual cujas bases se encontravam nos séculos precedentes. Verdadeira revolução doutrinária, as novas ideias e os novos conceitos tiveram repercussão desestabilizadora e de longo alcance nos domínios social, político, econômico, religioso, científico e artístico.

Durante esse período – época da Revolução Industrial e do Iluminismo na Inglaterra – Joseph Wright veio ao mundo, em três de setembro do ano de 1734 em Derby – uma cidade industrial ao noroeste de Londres –, vindo a falecer em 29 de agosto de 1797. Embora tenha passado alguns anos de sua vida na Itália, Wright viveu principalmente em Derby. O pintor foi o terceiro filho de um advogado da cidade, conhecido por sua integridade. Desde sua infância mostrou talento para a mecânica

e chegou a produzir, entre outras coisas, uma roda de fiar, uma caixa de surpresas e uma pequena arma. Aos 11 anos, manifestou uma forte inclinação para a arte. Wright copiava as fachadas das casas e fazia esboços das sessões do tribunal [13]. Desde cedo, ele despertou interesse pela arte de desenhar retratos [14, p. 184], pintando vários destes e muitas cenas clássicas. Também exibiu numerosas pinturas em exposições em Londres.

Dentre seus diversos trabalhos encontram-se um conjunto de obras com temas científicos e tecnológicos que Wright retratou com base em discussões filosóficas e experimentais ocorridas no século

XVIII e denominado *Candlelight (À luz de velas)*. O conjunto é constituído por três pinturas: 1) *Three persons viewing the gladiator by candlelight (Três pessoas observando o gladiador à luz de velas – 1765)*; 2) *A philosopher giving that lecture on the orrery in which a lamp is put in place of the Sun (Um filósofo dando uma aula no planetário na qual uma lâmpada é posta no lugar do Sol – 1766)* e 3) *An experiment on a bird in the air pump (Um experimento com um pássaro na bomba de ar – 1768)*.

O guia turístico esclarece ao professor que o fascínio de Wright por temas relacionados a arte, filosofia e ciência pode ter se fortalecido por suas relações de amizade com estudiosos e outros pesquisadores da época, muitos dos quais faziam parte da elite erudita pertencente ao

“Círculo Lunar” [14, p. 184], posteriormente denominada “Sociedade Lunar” (1775). “Com sede em Birmingham, seus membros se reuniam nas segundas-feiras de lua cheia para [aprender e] discutir os recentes progressos da ciência e da tecnologia, além de realizar experimentos e demonstrações” [14 p. 185]. Essa sociedade tentou dissipar noções permanentes da Idade Média, como superstição religiosa e intolerância política e social, promulgando uma visão de mundo liberal baseada no pensamento racional e defendendo uma sociedade aberta e inteligente [15, p. 323]. Ela traduz o espírito do Iluminismo no sentido de que, ao término das reuniões, seus membros retornavam para casa, à noite, banhados pela luz – a essência da busca do conhecimento pelo homem.

Dentre os membros dessa sociedade, encontram-se James Watt, criador da máquina a vapor; o químico Joseph Priestley [...] e Erasmus Darwin, médico de Joseph Wright e tema de um de seus quadros. Erasmus foi avô de Charles Darwin, autor da obra *A origem das espécies* (1859) e proponente da Teoria da Evolução baseada no processo de seleção natural. [14, p. 185]

Em face disso, o professor, mediante diálogo com o guia turístico, nota “[...] que Wright estava embebido em relações de curiosidade, fascinação e questionamentos sobre os avanços científicos da época” [16, p. 3] e, igualmente, que “[...] o contexto social [...] foi determinante para a riqueza de conhecimentos que ele

**Eram nas noites de lua cheia que os membros da Sociedade Lunar se reuniam para aprender e discutir sobre os progressos da ciência e da tecnologia**

demonstra na sofisticação de seus temas e em sua técnica detalhista e apurada” [17, p. 3].

Sob essa perspectiva, verifica-se que Wright – diferentemente de William Blake (1757-1827) em sua obra “*Newton*” (1795) –, ao elaborar suas telas “*A philosopher giving that lecture on the orrery*” (The orrery – Fig. 3a) e “*An experiment on a bird in the air pump*” (The air pump – Fig. 3b), não retrata o cientista como um ser hermético, isolado e incomunicável, preso em uma redoma inextinguível. Ao contrário, Wright ilustra reuniões científicas noturnas que têm como cerne principal a demonstração para uma pequena plateia de certos aspectos do sistema solar – “como eclipses, posição e movimento dos planetas e luas” [18] –, por meio de um planetário, e das propriedades do ar.

Na Fig. 3a, nota-se que o planetário representado por Wright faz alusão a um modelo mecânico primitivo (orrery) que utiliza uma vela ou lâmpada em seu centro para representar o Sol e vários anéis que mostram o posicionamento e o movimento dos planetas conhecidos à época. Na obra, além do filósofo, há sete outras pessoas que analisam atentamente o experimento. Acerca disso, o guia turístico interpõe salientando que o interesse por experimentos científicos se encontrava quase sempre circunscrito a um público oriundo de uma classe social abastada, na sua larga maioria ligada à prática científica – nesse caso, amigos ou familiares de estudiosos e pesquisadores parti-

cipantes da Sociedade Lunar, que tampouco era perita quanto ao tratamento de questões científicas. Acerca disso, Hanson [4, p. 133-135] argumenta que, embora se olhe para o mesmo objeto – o experimento –, o que cada indivíduo do grupo vê pode ser bem distinto, dadas as variáveis do contexto em que se insere, pois

sua atenção se detém em aspectos singulares que, em razão de seus interesses seletivos, dominam o campo visual. Tal fato torna-se visível quando examinadas as expressões faciais das pessoas pintadas por

Wright – ora atordoadas, ora embevecidas com o que viam e ouviam na suposta palestra. A pintura combina um retrato receptivo da sensibilidade humana com o fascínio pela ciência que revolucionou o século XVIII.

Muitos estudiosos encarregados de repetir experiências a partir de demonstrações públicas, como, por exemplo, o astrônomo escocês James Ferguson (1710-1776), faziam-nas de forma itinerante. As pinturas *The orrery* e *The air pump* foram inspiradas nessa tradição de conferencistas viajantes que popularizaram a ciência. O grande referencial teórico, nessa época, sem dúvida era Isaac Newton. Acerca disso, [19, p. 175] pondera que:

Assim, como em outras pinturas de tendências iluministas, o pensamento newtoniano é apresentado simbolicamente. Os padrões de luz nos rostos dos espectadores remetem às fases da lua e dos planetas, e as diferentes atrações entre os corpos celestes se refletem

nas diferentes relações humanas – as duas crianças estão física e emocionalmente próximas, enquanto os adultos aparecem mais afastados, em um círculo dominado pelo instrutor. Essas representações visuais da estreita ligação entre o cosmos governado por leis de Newton, a lei benevolente de Deus e a hierarquia estável da sociedade georgiana foram complementadas por expressões verbais em poesia e filosofia.

Acredita-se que o procedimento itinerante tinha como intuito alcançar o maior número possível de adeptos às explicações científicas, porém há controvérsias quanto a isso. Se esse fosse o real objetivo das demonstrações experimentais, as mesmas seriam destinadas a todos os públicos, mas não o foram. Nesse caso, as exposições científicas eram consideradas privadas e, portanto, limitadas a poucos. Por outro lado, poder-se-ia oportunizar o momento para arrecadar fundos monetários – ao tornar as palestras um ofício remunerado –, em prol da proliferação dos experimentos.

Nesse caso, pode-se dizer que o pintor parece atribuir coletividade ao empreendimento científico, transmitindo ao contemplador a mensagem de que a ciência se caracteriza como uma construção humana.

Quanto à tela *The air pump* (Fig. 3b), o professor percebe que o tema se torna tão provocador quanto fascinante: uma bomba de ar ao centro contendo em sua campânula uma cacatua. Supõe-se “[...] que se a cacatua for privada de ar pelo acionamento da bomba, a mesma morrerá. Assim, toda a história da tela se desenrola disso” [16, p. 3]. Nessa obra,

**Muitos estudiosos encarregados de repetir experiências a partir de demonstrações públicas faziam-nas de forma itinerante. A pintura *The orrery* e *The air pump* foram inspiradas nessa tradição de conferencistas viajantes**



Figura 3: (a) Tela “*A philosopher giving that lecture on the orrery, in which a lamp is put in the place of the Sun*”<sup>5</sup> (1766) de Joseph Wright (1734-1797). Fonte: Derby Museum. (b) Tela “*An experiment on a bird in an air pump*”<sup>6</sup> (1768) de Joseph Wright. Fonte: National Gallery.

Wright retrata Ferguson executando experimentos associados à pressão do ar [14, p. 185].

Ferguson achava que usar animais vivos ou pássaros em suas demonstrações era “muito chocante”, preferindo, assim, usar uma bola, provavelmente feita de uma bexiga inflada, ou pulmões artificiais e, talvez até mesmo, pulmões de um animal morto. Parece provável,



Figura 4: (a): Ilustração de uma bomba de vácuo pintada na tela *The Air Pump* de Joseph Wright. (b): *Zoom in* na mesa da tela *The air pump*; há um par de pequenos hemisférios de Magdeburgo – experimento realizado por Otto Von Guericke em maio de 1654, diante do imperador Fernando III (1608–1657) para demonstrar a força exercida pela pressão atmosférica ao se exaurir todo o ar de dentro de sua esfera oca de cobre com uma bomba de vácuo. Fonte: National Gallery.

por outro lado, que Wright quisesse incluir um efeito dramático – para criar um momento de tensão – ao pintar a provável morte de uma cacatua em um recipiente de vidro ao se exaurir o ar de dentro dele.

Em meados do século XVIII, a bomba de ar não era um instrumento novo (Fig. 4a). O primeiro modelo foi inventado cerca de cem anos antes por Otto von Guericke (1602–1686) (Fig. 4b) e foi desenvolvido na Inglaterra por Robert Boyle (1627–1691) e Robert Hooke (1635–1703). Sendo um instrumento barato, as bombas de vácuo eram encontradas nos mais diversos locais, caracterizando-se, desta forma, como um símbolo científico da época.

Nesse contexto, o pintor parece utili-

zar a representação das demonstrações experimentais – como atividades de grande tradição na história da ciência – com o objetivo não somente de promover a divulgação do conhecimento científico desenvolvido, saciando a curiosidade, mas também de convencer e persuadir o público a reconhecer e aceitar o trabalho do estudioso.

Dessa forma, o experimento encenado na pintura da Fig. 3b:

[...] trata da representação do caráter instrutivo do saber científico, pois evidencia aspectos de um experimento cujo cunho didático é apresentado a uma plateia diversificada, em que crianças, jovens e adultos expressam diversos valores simbólicos, advindos

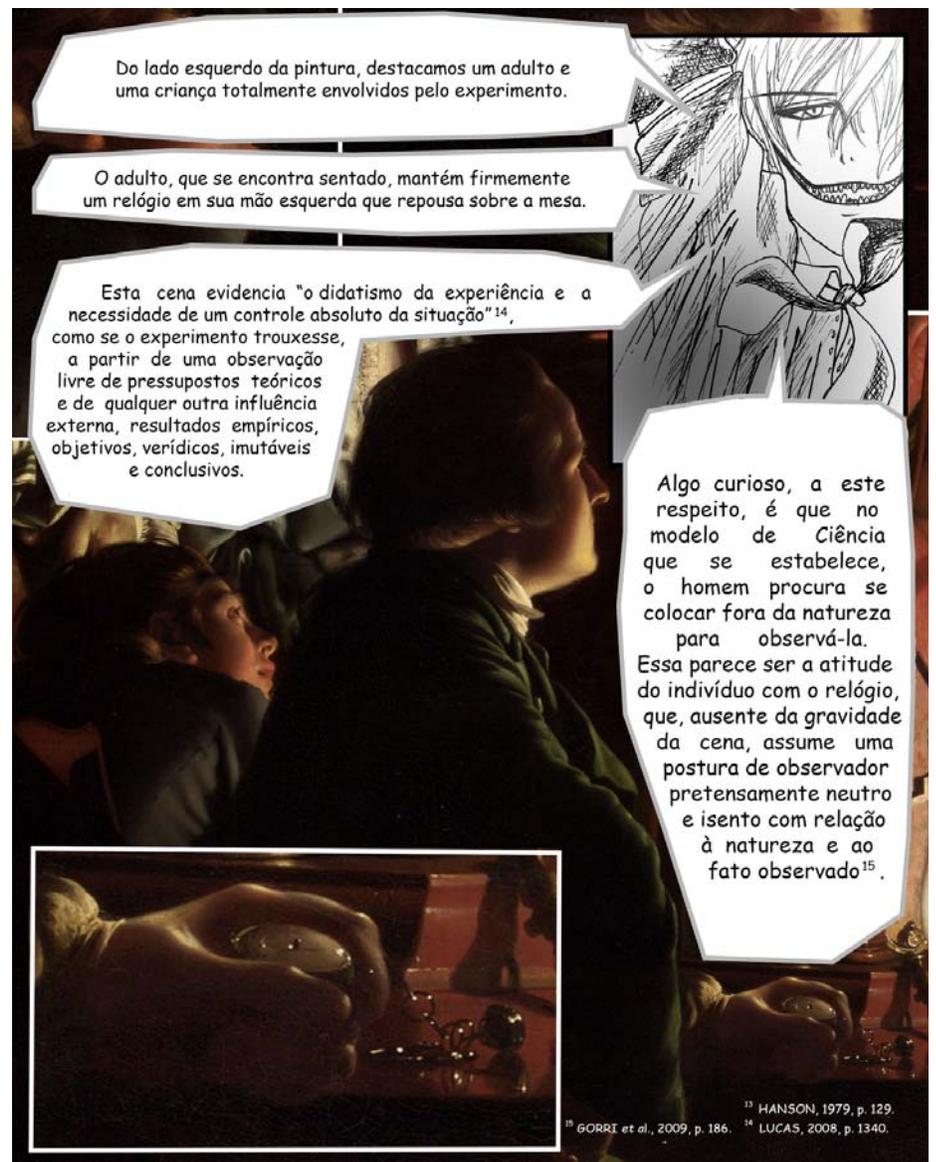


Figura 5: Uma criança e um adulto, situados no lado esquerdo da obra *The air pump* de Joseph Wright, completamente cativados pelo experimento. Destaque para o relógio de bolso na mão do adulto. Painéis presentes na página 12 da HQ.

de uma fruição metafórica, frente à trama. [20, p. 1337-1338].

Como pondera Hanson [4, p. 129], “observar é fazer uma experiência”. No caso da Fig. 3b pode se exemplificar uma possível postura empírico-indutivista do indivíduo que, localizado no lado esquerdo da tela, mantém um relógio em sua mão (Fig. 5) na expectativa de controlar a situação. Com essa representação, Joseph Wright parece passar ao apreciador a mensagem de que a ciência é um empreendimento não influenciável pelos contextos social, cultural, político, econômico etc. nos quais ela é construída, algo um tanto controverso se considerada a presença em suas obras de cenários que remetem à prática científica da sua época e das influências exercidas sobre ele por suas amizades com os membros da Sociedade Lunar. De acordo com Hanson [4, p. 135], a observação não pode ser neutra porque “[...] é dirigida pelo interesse do contexto [...] e [...] de nossos interesses seletivos [...]”. “Isso é o que ocorre em todos os casos em que a

observação está em pauta” [4, p. 134-135].

Assim, essa obra prima de Wright, “*The air pump*”, coloca o contemplador diante da primazia do olhar, do modo como aquele que vê está alienado na solidão (Fig. 6) de sua observação.

Na pintura de Joseph Wright nota-se, representados no canto esquerdo da tela, “[...] um casal de jovens, visivelmente apaixonados, [que] parece não se envolver com a cena, pois mantêm os sentidos e o pensamento longe desse momento de tensão. Trata-se de amigos de Wright, que logo viriam a se casar [...]” [14, p. 186].

Já do outro lado da tela – à direita –, o guia turístico e o professor atribuem destaque tanto à Lua quanto ao garoto (Fig. 7). Ao luar se confere uma referência de Wright à Sociedade Lunar e ao garoto se concede uma reflexão sobre se deve recolocar (ou não) a gaiola em seu devido local, certo de que a cacatua poderá sobreviver (ou não) ao experimento. Diante disso, indaga-se: Quem, então, decide pela

vida ou pela morte da cacatua na obra do pintor?

Um suposto indício para o questionamento da Fig. 7 desenvolve-se por meio da análise do personagem principal; o estudioso que manipula o experimento (Fig. 8). Deste, destacam-se duas ações enigmáticas:

A primeira é que o mesmo olha para fora da tela e não para os personagens que a compõem e a segunda é sua mão esquerda segurando uma válvula em cima da campânula tendo os dedos a forma que lembra uma interrogação. Isso abre margem para a interpretação [...] de que o personagem principal da tela não está dentro dela. Na verdade, o personagem principal somos nós os observadores externos que decidiremos se o experimento ocorrerá ou não. O dilema de matar o pássaro, portanto, nos pertence. [16, p. 4]

Assim, verifica-se que “Joseph Wright – não apenas neste trabalho – escreveu, com maestria, verdadeiros tratados epistemológicos que registram nuances da capacidade do homem em (re)inventar-se a si mesmo a cada tempo” [20, p. 1342].

Alguns reflexos de como se vê a ciência e a arte hoje (e a função social de cada uma) ainda são reminiscências daquele período e este pode ser o tema gerador de um processo dialógico com os alunos durante a atividade com a tela de Joseph Wright. [17, p. 4]

Os dois trabalhos de Wright discutidos aqui são riquíssimos para se debater questões em torno da construção do conhecimento. Eles demonstram a influência do movimento científico e tecnológico exercida sobre a sociedade do século XVIII. Com isso, verifica-se que a ciência é um indicador político, social, emocional, religioso, cultural, de consciência coletiva, mutável, flexível e criativa. Ademais, ao utilizar as telas de Joseph Wright em sala de aula, por exemplo, pode-se auxiliar na disseminação de uma visão mais adequada e informada dos dilemas científicos e sociais, que extrapolam as fronteiras internacionais [15, p. 323], condizentes com as reflexões filosóficas contemporâneas.

### Algumas considerações finais

Outras discussões histórico-filosóficas acerca das telas *The orrery* e *The air pump* de Joseph Wright, além da que envolve o papel dos experimentos no empreendimento científico, podem ser consideradas para fins didático-pedagógicos



Figura 6: As expressões faciais e corporais dos personagens diante da demonstração do experimento na pintura *The air pump* de Joseph Wright. Painéis presentes na página 13 da HQ.



Figura 8: O estudioso, personagem principal da trama retratada por Joseph Wright em sua obra *The air pump*. Fonte: National Gallery.

HQ, que dá margem a toda a discussão do enredo, é "real" e de interesse para promover discussões na perspectiva dos objetivos do presente artigo.

Há incontáveis atividades relativas às telas de Joseph Wright que podem ser pensadas em disciplinas que envolvam sociologia, história, filosofia, literatura, artes, física, química e biologia. É inegável, porém, que a concretude de atividades, ferramentas ou materiais didáticos, como a história em quadrinhos desenvolvida e apresentada aqui, demanda tempo de estudo por parte do professor. Contudo, elas podem potencializar o ensino dessas disciplinas, trazendo a possibilidade de pensar a ciência e suas características a partir de novas perspectivas. Ademais, isso estaria em consonância com os argumentos propostos por Feyerabend [23] ao empreendimento científico, mas redirecionados aqui à prática pedagógica, devido ela se apresentar sob as mais variadas facetas, em virtude da complexidade e não somente das variáveis envolvidas em uma sala de aula.

Diante disso, surge a necessidade de inovar as práticas, buscando novas metodologias e estratégias para que o aluno de física, bem como os de outros campos, possa interagir com outras áreas do saber de forma a se apropriar de um aprendizado mais amplo e interdisciplinar.

Figura 7: Painéis presentes na página 14 da HQ.

por professores, como por exemplo a visão aproblemática e ahistórica da ciência, em que se transmitem "[...] os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas etc., e [...] as limitações [e perspectivas] do conhecimento científico atual [...]" [21, p. 131]. Isto, ao se considerar a necessidade de um maior aprofundamento acerca do contexto histórico e da vida de alguns estudiosos relacionados à produção do vazio e, até mesmo, de alguns membros da Sociedade Lunar, extremamente vinculados a Wright.

Optou-se por discutir tal aspecto da natureza da ciência em pinturas de mesmo contexto problematizador, com a intenção de que, particularmente, bacharelados e licenciandos em física pudessem aperfeiçoar suas representações a respeito de conceitos envolvidos na construção do conhecimento científico [22], a partir da relação entre arte e ciência.

Por certo, a história da HQ, na qual há um ônibus, dirigido por um guia turístico, que transporta um professor universitário para outra dimensão é meramente fictícia, desvinculada da "realidade". Entretanto, o conteúdo teórico da

## Referências

- [1] I. Galili, *Science & Education* **22**, 1911 (2013).
- [2] M.C. de Alcantara e W.T. Jardim, in: *Anais do III Conferencia Latinoamericana del International, History and Philosophy of Science Teaching Group*, Santiago de Chile, 2014, p. 164-172.
- [3] E.A. Colagrande, S.A.de A. Martorano e A. Arroio, *Natural Science Education* **12**, 7 (2015).
- [4] N.R. Hanson, in: *Filosofia da Ciência*, editado por S. Morgenbesser (Cultrix, São Paulo, 1979), p.127-138.
- [5] C.H. Fioravanti, R. de O. Andrade e I. Da C. Marques, *História, Ciências, Saúde* **23**, 1191 (2016).
- [6] M.L.D.A. Pereira, L. Olenka e P.E.D.F. Oliveira, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **33**, 896 (2016).
- [7] L. Jorge e L.O.Q. Peduzzi, in: *Anais do XV Seminário Nacional de História da ciência e da Tecnologia*, Florianópolis, 2016, p. 407-421.
- [8] S. McCloud, *Desvendando os Quadrinhos* (Makron Books, São Paulo, 1995).
- [9] W. Eisner, *Comics & Sequential Art* (Poorhouse Press, Florida, 1999).
- [10] D.P. Ausubel, *The Psychology of Meaningful Verbal Learning* (Grune and Stratton, New York, 1963).
- [11] D.P. Ausubel, *Educational Psychology: A Cognitive View* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1968).
- [12] A. Presser e L. Schlögl, *Verso e Reverso* **29**, 35 (2015).
- [13] W.C. Monkhouse, *Joseph Wright: English Painter* (Oxford University Press, London, 1900).
- [14] A.P. Gorri e O. Santin Filho, *Química Nova na Escola* **31**, 184 (2009).
- [15] T. Schlick, *Leonardo* **38**, 323 (2005).
- [16] A.F. Miquelin, in: *Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Águas de Lindóia, 2015, p. 1943-1950.
- [17] M.D. da Silva, M.S.T. de Freitas e A.F. Miquelin, in: *Anais do IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia*, Ponta Grossa, 2014, p. 1-9.
- [18] A. Batista, F.L. Bernardo, M.L. Eicheler, A.P. Gorri e J.P. Mannrich, in: *Anais do IV Jornada de História da Ciência e Ensino*, 2013, p. 28-29.
- [19] P. Fara, *Uma Breve História da Ciência* (Fundamento Educacional Ltda., São Paulo, 2014).
- [20] M. Lucas, in: *Anais do XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisadores em Artes Plásticas*, 2008, p. 1331-1342.
- [21] D. Gil Pérez, I.F. Montoro, J.C. Alís, A. Cachapuz e J. Praia, *Ciência & Educação* **7**, 125 (2001).
- [22] J.C. Muchenski, C.G. Klipan, C.R.R. Kops e A.F. Miquelin, in: *Anais do V Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 2016, p. 1-12.
- [23] P.K. Feyerabend, *Contra o Método* (Francisco Alves, Rio de Janeiro, 1977).

## Notas

- <sup>1</sup>O módulo de ensino comporta uma HQ – constituída em duas partes (“As pinceladas anti-newtonianas de William Blake” [parte 1] e “Do encantamento ao horror científico: as pinceladas de Joseph Wright em *The orrery* e em *The air pump*” [parte 2]) e textos a ela relacionados (“As pinceladas anti-newtonianas de William Blake” [texto 1] e “Do encantamento ao horror científico: as pinceladas de Joseph Wright em *The orrery* e em *The air pump*” [texto 2]), os quais fornecem informações fundamentadas e argumentadas aos alunos sobre a construção e o desenrolar da história.
- <sup>2</sup>Primeira história independente desenvolvida que acabou dando origem ao nome da série que engloba diversas histórias em quadrinhos. Disponível em <http://pt.calameo.com/read/0046485865d52fadcabcd>, acesso em 15 Ago. 2017.
- <sup>3</sup>As *Pinceladas Anti-Newtonianas de William Blake* – uma das histórias em quadrinhos presente em *Imaginarium*. Disponível em <https://pt.calameo.com/read/00464858667c504b19258>, acesso em 15 Ago. 2017.
- <sup>4</sup>A história em quadrinhos “Do encantamento ao horror científico: as pinceladas de Joseph Wright em *The orrery* e em *The air pump*” completa pode ser visualizada em: <https://pt.calameo.com/read/0046485864c82a0b38360>. Acesso em: 15 Ago. 2017.
- <sup>5</sup>Pintura disponível em <http://www.derbymuseums.org/joseph-wright-gallery/>, acesso em 15 Ago. 2017.
- <sup>6</sup>Imagem disponível em <https://www.nationalgallery.org.uk/paintings/joseph-wright-of-derby-an-experiment-on-a-bird-in-the-air-pump>, acesso em 15 Ago. 2017.



.....

### Sarita de Cassia Huguen Brunelli

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil  
E-mail: saritabrunelli@gmail.com

### Felipe Damasio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil  
E-mail: felipedamasio@ifsc.edu.br

### Anabel Cardoso Raicik

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil  
E-mail: anabelraicik@gmail.com

.....

Normalmente, como aponta a literatura, a ciência é vista como um campo de conhecimento desenvolvido por pessoas de um tipo específico; gênios, brancos, homens. Contudo, diversas iniciativas vêm sendo elaboradas para mudar esse panorama, como um programa da UNESCO, patrocinado por uma multinacional, com o intuito de valorizar as cientistas mulheres. Nesse sentido, este artigo visa contextualizar a vida acadêmica da física Márcia Barbosa, discutindo, brevemente e sem recursos matemáticos, seus estudos acerca das anomalias da água que a levou a ser premiada internacionalmente. Essa discussão se mostra relevante, pois aborda temas de física contemporânea e suas aplicações práticas, como na dessalinização da água, que estão normalmente ausentes dos livros textos. Além disso, propõe e apresenta (em anexo) uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para professores de física, a fim de que possam levar discussões de e sobre a ciência para a sala de aula. Para que a UEPS seja implementada no ensino, disponibiliza-se em um sítio Web específico todo o material necessário para o professor interessado.

### Introdução

O ensino de ciências, correntemente, apresenta concepções sobre o empreendimento científico que, conforme aponta a literatura [1-4], são limitadas e equivocadas à luz da moderna filosofia da ciência. Apesar de diversas pesquisas atestarem isso, ressalta-se que algumas delas, como as de Moura [5] e Martins [6], discordam que haja uma visão de ciência correta a ser discutida e refletida no âmbito da educação científica. O certo é que, implícita ou explicitamente, seja por meio dos professores ou dos materiais didáticos, há no ensino de ciências certa concepção filosófica que orienta, nesse contexto, a maneira de entender a ciência.

A ideia de que a ciência é individualista e elitista é uma das visões mais presentes no ensino. Nessa perspectiva, os estudiosos são vistos como gênios isolados e ignora-se o papel coletivo no desenvolvimento científico. Conseqüentemente, essa concepção restringe o trabalho científico, que acaba se destinando a minorias especialmente dotadas – o que causa impacto negativo na maioria dos alunos que não se enxergam como membros desse grupo privilegiado. Segundo Fernández [2], a ciência é entendida como uma atividade essencialmente masculina.

Com efeito, diversas ações têm sido feitas para destacar o papel das mulheres na ciência. Pode-se ressaltar, entre elas, o programa internacional UNESCO For Women in Science, patrocinado por uma multinacional. A cada ano, cinco cientistas são premiadas (uma para cada região do mundo). Desde o início do programa supracitado, cinco brasileiras foram laureadas com o prêmio: Mayana Zatz (Genética - USP), em 2001;

Lucia Previato (Microbiologia - UFRJ), em 2004; Belita Koiller (Física - UFRJ), em 2005; Beatriz Barbuy (Astrofísica - USP), em 2009; Marcia Barbosa (Física - UFRGS), em 2013 e Thaisa Storchi Bergmann (Astrofísica - UFRGS), em 2015.

Neste trabalho, evidencia-se tanto a trajetória acadêmica quanto os estudos físicos relativos à água da física premiada Márcia Barbosa. Além do já citado prêmio, a cientista também foi agraciada com a Medalha Nicholson (2009), o prêmio Cláudia (2013) e o prêmio Anísio Teixeira (2016), entre outros. Para que se possa compreender o impacto das pesquisas de Márcia, faz-se necessário contextualizar algumas características da água que podem ser consideradas anômalas, relacionando-as com alguns conceitos físicos como o de calor específico, compressibilidade e difusão. Essa abordagem parece relevante, pois normalmente tais temas de física contemporânea não estão presentes em livros-texto e, por consequência, em grande parte das aulas de física. Além disso, o presente artigo disponibiliza ao professor de física uma discussão acerca das aplicações práticas do desenvolvimento da física contemporânea ligada às anomalias da água, como sua dessalinização.

O viés de usar mulheres de sucesso para que meninas se sintam parte do empreendimento científico é sugerido por estudos recentes. Menezes [7], por exemplo, baseia-se no estudo

**Neste trabalho, evidencia-se tanto a trajetória acadêmica quanto os estudos físicos relativos à água da física premiada Márcia Barbosa**

de uma multinacional que apontou que há cinco causas que podem ajudar as meninas a se aproximarem da ciência: exemplos de mulheres cientistas de sucesso, incentivo de professores e pais, experiências práticas, aplicação na vida real e confiança na igualdade intelectual. A proposta didática sugerida no presente

trabalho pode contemplar pelo menos quatro destes itens.

Com o intuito de romper com a visão estereotipada de que a ciência é concebida por homens e visando discutir alguns conceitos físicos que envolvem anomalias da água, este artigo ainda propõe uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que discute a ciência contemporânea produzida por Márcia e seu grupo de pesquisa. Desenvolvida pensando no ensino de ciências, a UEPS traz discussões e reflexões sobre a ciência à luz da moderna filosofia da ciência. Os objetivos da proposta são alcançar as duas condições que Ausubel [8] preconiza em sua Teoria da Aprendizagem Significativa a fim de se superar a aprendizagem mecânica: predisposição em aprender e material potencialmente significativo.

### A física premiada: Márcia Barbosa

Márcia Cristina Bernardes Barbosa nasceu em 1960, no Rio de Janeiro. Frequentou o Ensino Médio em Canoas/RS, no Colégio Marechal Rondon. Em 1978 iniciou a graduação em física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tendo concluído em 1981. Nesse mesmo ano, iniciou o mestrado, também na UFRGS, no qual estudou o modelo de Potts, concluído em 1984, ano que iniciou o doutorado na mesma instituição, continuando seu estudo acerca do modelo de Potts, obtendo o grau de doutora em Ciências em 1988. Márcia possui três pós-doutorados; na UFRGS, na Universidade de Maryland e na Universidade de Boston (EUA). É professora na UFRGS desde 1991, passando à categoria de titular em 2012.

Durante sua carreira, Márcia tem se dedicado a estudar as anomalias da água. Sua pesquisa envolve tanto questões teóricas quanto práticas, estas últimas relacionadas às aplicações em áreas como a medicina. Seu trabalho permite entender muitas características da água que a tornam diferente de outros líquidos e explicar, por exemplo, como as biomoléculas (como o DNA) interagem com a água dentro do corpo humano. Além disso, desde 1998 Márcia também se dedica à questão de gênero na física, sendo grande incentivadora de maior participação das mulheres na ciência. Por essa atividade, ela foi reconhecida com a Medalha Nicholson, ofertada pela American Physical Society.

### A física premiada: a água e suas anomalias

A purificação da água do mar em larga escala parece ser um sonho atingível.

Conforme destaca Márcia, a pesquisa que ela e o grupo de que faz parte vem desenvolvendo com nanotubos pode, em um futuro não muito distante, tornar isso possível. Eles se destacaram, recentemente, por terem descoberto uma particularidade da molécula da água no que se refere a sua anomalia de difusão. Por meio de um modelo computacional, identificaram que, diferindo do comportamento de diversos outros líquidos quando confinados, as partículas da água movem-se mais rapidamente quando mais de suas moléculas estão presentes [9].

Cabe evidenciar, para se compreender com maior proprie-

dade a relevância das pesquisas de Márcia e seu grupo, características primordiais da água. Por certo, ela é abundante em nosso planeta, cerca de 2/3 da superfície terrestre é coberta por água, além de o corpo humano ser formado por 70% desse líquido. Apesar disso, estimativas da ONU preveem que metade das pessoas irá sofrer com a escassez do líquido em 2025 [10]. Logo, uma questão que parece urgente envolve maneiras viáveis de produzir água potável [9]. Esse quadro se coloca porque, apesar de abundante, 98% da água é salgada. Dos cerca de 2% de água doce, só 0,6% está na fase líquida e, desse percentual, ainda boa parte está submersa [10].

A água é formada por uma molécula com três átomos (Fig. 1): dois hidrogênios (número atômico 1) e um oxigênio (número atômico 8). Como o oxigênio tem seis elétrons na camada de valência são necessários dois para completá-la; o hidrogênio tem somente um elétron, logo é preciso dois hidrogênios para completar a banda de valência. O compartilhamento dos elétrons na molécula de água é por ligação covalente, portanto ela possui duas ligações covalentes.

As ligações covalentes da água têm a particularidade de não se posicionarem

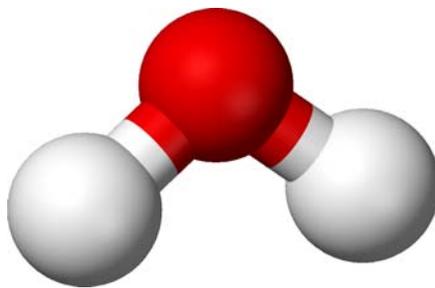


Figura 1: Molécula de água.

**Márcia tem se dedicado a estudar as anomalias da água. Sua pesquisa envolve tanto questões teóricas quanto práticas, estas últimas relacionadas às aplicações em áreas como a medicina**

linearmente como na maioria dos materiais; elas formam um ângulo de 104°. Esse ângulo, junto com a eletronegatividade do oxigênio (atrai mais os elétrons compartilhados por ter mais prótons), faz com que a água seja uma molécula polarizada, tornando-se um dipolo que atrai outras moléculas de água por meio do que é chamado de ligação de hidrogênio. Cada molécula pode fazer quatro ligações de hidrogênio, formando assim uma estrutura tetraédrica [11] como mostra a Fig. 2.

Apesar de ser uma molécula simples, a água pode ser considerada um fluido complexo. A sua obscuridade não envolve, necessariamente, o

sentido de “algo complicado”. Questões complicadas podem ser resolvidas por supercomputadores, por exemplo, por se conhecerem suas variáveis. Complexos são os problemas que apresentam várias escalas, vários grupos, como os que envolvem a água. Dados recentes [12] evidenciam que a água apresenta pelo menos 72 características consideradas anômalas.

As ligações de hidrogênio, a polarização e a formação de agregados transitórios podem ser algumas das razões que fazem da água uma substância complexa. Fenômenos relacionados ao seu calor específico, sua compressibilidade e sua difusão são algumas das anomalias mais proeminentes.

### Calor específico

O calor específico pode ser definido como “a quantidade de calor requerida para alterar a temperatura de uma unidade de massa da substância em 1 grau” [13, p. 272]. Cada substância possui um valor

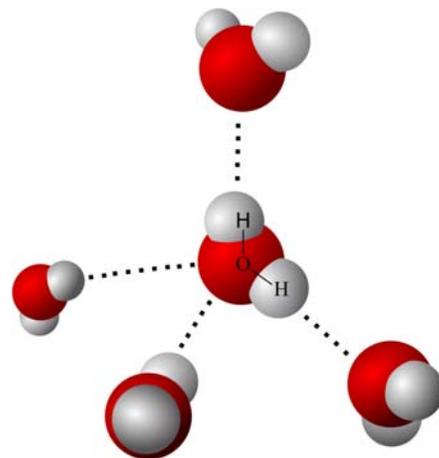


Figura 2: Estrutura tetraédrica da água.

próprio de calor específico, justamente por possuírem diferentes capacidades de armazenamento de energia interna – materiais distintos absorvem energia de maneira dissemelhante. A água, por exemplo, absorve, para uma mesma variação de temperatura, muito mais calor que o ferro, ou seja, o calor específico da água é maior que o do ferro. “Podemos pensar no calor específico como sendo uma espécie de ‘inércia térmica’” [13, p. 272].

A água, no entanto, apresenta uma característica anômala (Fig. 3). Normalmente, o valor do calor específico de um material diminui com a redução da temperatura. O comportamento do calor específico da água é singular. A água é capaz de absorver grandes quantidades de calor, variando pouco sua temperatura. Por certo, ele diminui para algumas faixas de temperatura. Conquanto, para temperaturas abaixo de 4 °C, o calor específico da água apresenta um crescimento elevado [11].

### Compressibilidade e coeficiente de expansão térmica

A compressibilidade pode ser entendida como a medida da variação do volume de uma substância em relação a uma variação na pressão, mantendo-se a temperatura constante. Os sólidos possuem compressibilidade muito pequena [10], enquanto os líquidos apresentam, normalmente, compressibilidade linear com a variação de pressão. Com efeito, quando o volume aumenta a pressão diminui, e vice-versa.

Não obstante, a água comporta-se de modo diferente. Existe uma região onde a compressibilidade diminui com o aumento da temperatura, apresentando um ponto de mínimo, mas depois o valor passa a ser positivo. Além disto, a compressibilidade da água é extremamente pequena, mas não chega a ser como a de um sólido (Fig. 4).

Outro comportamento estranho da água está associado a seu coeficiente de expansão térmica [11], que pode ser entendido como a medida da variação do volume com a temperatura. Na maior parte dos líquidos, esse valor é praticamente constante. Na água, todavia, ele diminui e chega ao ponto de ficar negativo – o que implica uma variação negativa de volume para um aumento de temperatura.

Por consequência, a água também apresenta uma anomalia em sua densidade. Ela apresenta um máximo de densidade em torno de 4 °C. Para temperaturas maiores do que essa, a água tem o valor de sua densidade se comportando como

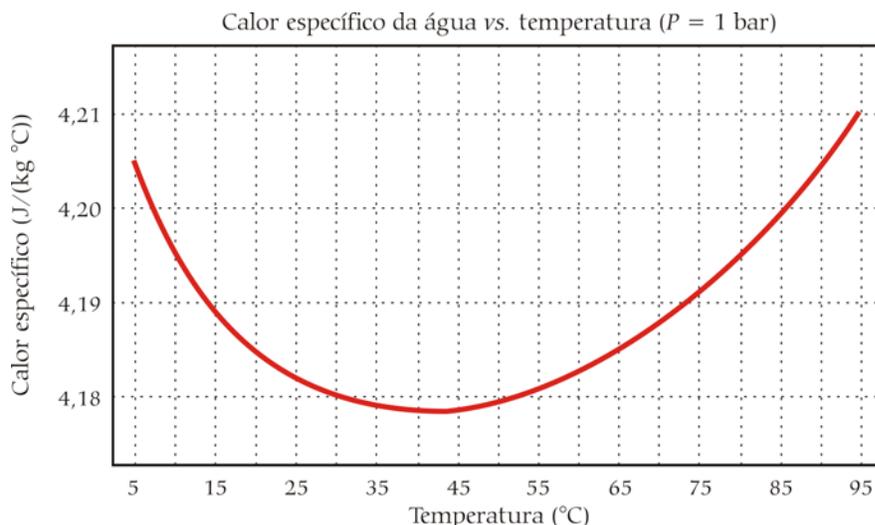


Figura 3: Variação do calor específico da água com a temperatura [11].

um líquido normal, isto é, a densidade aumenta com a diminuição da temperatura. Não obstante, para temperaturas inferiores, o comportamento é diferente e diminui com a temperatura [9] (Fig. 5). Um exemplo das implicações desta variação peculiar da densidade da água é que na fase sólida (gelo) ela tem densidade menor do que na fase líquida – ao contrário de outras substâncias. Isso explica por que o gelo boia na água líquida. Segundo Márcia Barbosa, esse comportamento da água, além de estranho, “é um mistério muito interessante” [11].

### Difusão

Sem grande rigor, pode-se definir a difusão como a capacidade das moléculas de se movimentarem em um determinado espaço – ou, como na analogia de Márcia, a capacidade das pessoas de andar [14].

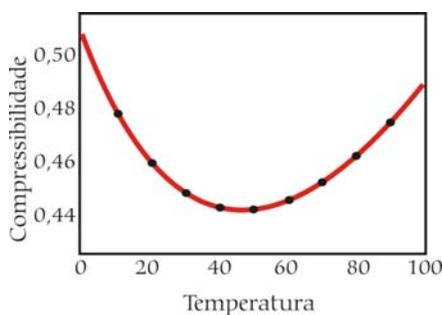


Figura 4: A variação da compressibilidade da água com a temperatura [9].

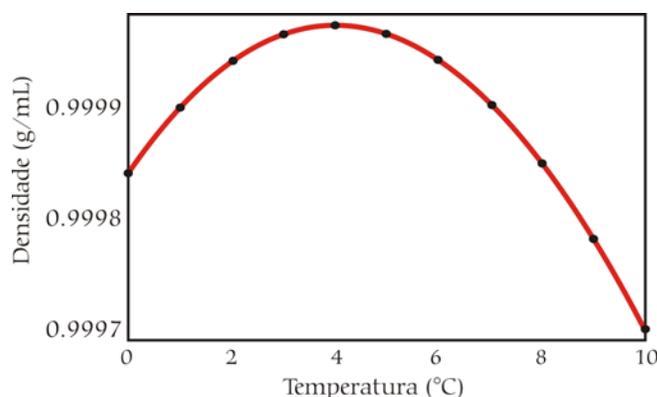


Figura 5: Variação da densidade da água com a temperatura [11].

De modo geral, espera-se que ao diminuir a densidade de um material, diminuindo a sua pressão, a difusão ocorra mais facilmente. A mobilidade é, normalmente, proporcional ao espaço disponível.

A água, contudo, apresenta novamente um comportamento atípico. Em baixas temperaturas seu coeficiente de difusão aumenta com a densidade (Fig. 6). Outro dado interessante que se pode perceber ao comparar as Figs. 5 e 6 é que a anomalia da difusão da água ocorre praticamente na mesma região que a de densidade.

A explicação para a difusão anômala da água baseia-se no movimento das moléculas, que procuram preservar as quatro ligações de hidrogênio. Essas ligações só se formam se as moléculas estiverem próximas; as partículas movem-se rompendo e formando ligações; logo, isso ocorre com mais facilidade em aglomerados mais densos [9]. Cabe ressaltar que todas as considerações acima supracitadas já eram bem conhecidas por meio da física experimental antes do trabalho

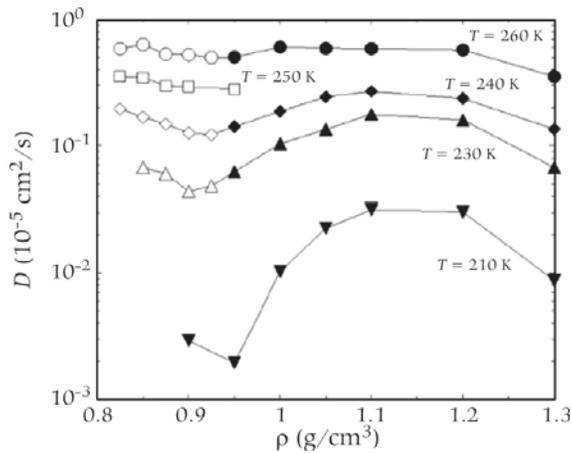


Figura 6: Coeficiente de difusão da água em função da densidade para diferentes temperaturas [15].

de Márcia e seu grupo na UFRGS.

O que levou Márcia Barbosa a ser agraciada com um prêmio do programa internacional UNESCO For Women in Science foi a pesquisa com simulações computacionais envolvendo a difusão da água. Por meio de modelos, ela e seu grupo conseguiram identificar e explicar fenômenos que por meio da física experimental não eram identificados nem explicados. As simulações evidenciaram que durante a difusão as moléculas de água ‘dançavam’ ao se transladar para manter as ligações de hidrogênio enquanto se mexiam. A título de curiosidade, esse movimento foi chamado jocosamente, por alguns acadêmicos da UFRGS, de “dancinha da Márcia” [10].

Identificou-se que o valor mínimo da difusão coincide com o máximo tempo de rotação das moléculas de água. Além disso, foi possível perceber que na região em que as moléculas de água se difundiam ao máximo, elas tinham cinco ou seis vizinhos, em vez de quatro como representado na Fig. 2. Essas moléculas ‘extras’ tornam mais fácil a água se mover, pois, como se constatou, a molécula extra facilita que uma molécula de água se desloque de uma ligação de hidrogênio para outra. Márcia denominou espirituosamente essa capacidade de “efeito Ricardão” [10]. Efetivamente, é pela percepção desse efeito que Márcia foi laureada com o prêmio oferecido pela UNESCO.

### Desdobramentos dos atuais estudos sobre a água: a superdifusão e a dessalinização

Atualmente, a dessalinização da água do mar parece ser um campo bastante promissor no que diz respeito à aplicação das pesquisas teóricas acerca da água. Os processos existentes têm custo energético

alto ou são, ainda, pouco eficientes. Como a tecnologia empregada neles está muito próxima do limite, dificilmente ficarão mais baratos que do que estão no presente.

Um mecanismo natural que é capaz de separar o sal da água é o corpo humano. Como coloca Márcia Barbosa [10], o rim é uma supermáquina que faz essa separação. Para esse processo, o órgão utiliza uma proteína conhecida como Aquaporina. Esse sistema, pelo qual a água passa por canais de cerca de 1 nm, é trinta vezes mais eficiente do que os melhores processos de dessalinização por filtros artificiais.

Nesse sentido, outro campo de pesquisa que parece promissor visa entender e reproduzir o sistema utilizado pelo rim por meio da Aquaporina. Recentemente, percebeu-se que quando a água está confinada em tubos de carbono muito pequenos, com diâmetros menores que 2 nm, ela flui com velocidade até mil vezes maior que o previsto pela termodinâmica [9]. A Fig. 7 reproduz um gráfico publicado pelo grupo de Márcia Barbosa que mostra o aumento do fluxo da água se comparado com um sistema não nanométrico.

Apesar de esse fenômeno ainda não estar completamente explicado, pode-se vislumbrar aplicações práticas de seu estudo. O sal não entra com facilidade em superfícies confinantes, pois precisa enfrentar uma descontinuidade dielétrica ao tentar entrar nos tubos. Logo, propôs-se recentemente que o alto fluxo da água e a repulsão do sal nos nanotubos podem se

**Propôs-se recentemente que o alto fluxo da água e a repulsão do sal nos nanotubos podem se configurar como uma estratégia interessante para dessalinizar a água do mar**

configurar como uma estratégia interessante para dessalinizar a água do mar. Ressalta-se que, embora seja ainda uma proposta, já existem protótipos desse tipo de filtro [9].

### A física premiada em sala de aula: UEPS para um ensino de e sobre física/ciência

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) foram propostas por Moreira [17] como sequências didáticas fundamentadas, sobretudo, na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Uma motivação para a sugestão das UEPS foi que, segundo seu proponente, nem as teorias de aprendizagem nem tampouco os resultados da pesquisa básica em educação chegam à sala de aula.

Conforme Moreira, as UEPS podem ser construídas a partir de alguns aspectos sequenciais, como os apresentados abaixo. À luz desses aspectos é que se desenvolveu a UEPS “Para ensinar física moderna construída com a ajuda da física brasileira premiada internacionalmente Márcia Barbosa”, anexa a este artigo. Essa UEPS é constituída de slides, atividades experimentais, vídeos e textos que subsidiam as discussões. Cada uma de suas etapas foi desenvolvida levando-se em consideração aspectos relevantes para que a aprendizagem aconteça de maneira significativa; o aluno deve externalizar, inicialmente,

seu conhecimento prévio; as primeiras situações-problema a serem discutidas e refletidas devem ser mais introdutórias, e a diferenciação progressiva precisa ser levada em consideração.

Nesse sentido, discutem-se a seguir algumas perspectivas teóricas abordadas por Moreira, trazendo à tona os aspectos

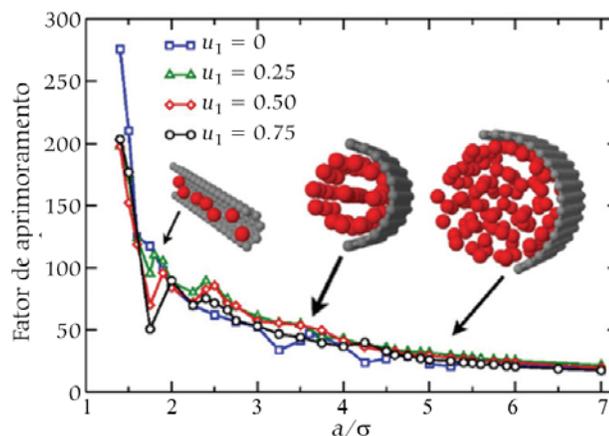


Figura 7: Superfluxo da água em função do raio do nanotubo [16].

sequenciais por ele sugeridos e pontos gerais da UEPS supracitada anteriormente. Ressalta-se que todos os materiais necessários para os professores colocarem a proposta em prática, o que inclui desde a UEPS até as apresentações de slides, estão disponíveis no sítio Física Premiada.

### **Definição do tópico específico a ser abordado**

De acordo com a concepção de desenvolvimento de UEPS, inicialmente pode-se definir o tópico específico que se pretende trabalhar em sala de aula. Isto posto, a proposta didática que perpassa a abordagem aqui descrita é fundamentada em dois pilares: uma educação *sobre e de* ciência. Para se alcançar isso, pretende-se desconstruir visões de ciência desalinhas com a moderna filosofia da ciência, procurando trazer reflexões sobre ciência que explicitam, em certa medida, convergências filosóficas como as que reconhecem que não há um método científico único, universal e infalível; que a ciência não é linear e acumulativa; que possui uma pluralidade metodológica, e que é praticada por indivíduos das origens mais diversas [1, 2, 17]. Para além disso, busca-se desenvolver uma abordagem concomitante de conceitos de física contemporânea, no que se refere às anomalias da água e aos processos de dessalinização da água do mar, quase sempre ausentes da educação científica.

### **Criação de situações iniciais para os alunos externarem seus conhecimentos prévios**

Para iniciar as atividades, mostra-se muito útil desenvolver estratégias que permitam aos alunos externalizar, sem receio, seus conhecimentos prévios *de e sobre* a ciência que se irá discutir. Para isso, a UEPS (anexo) propõe, por meio de roteiros de experiências, o levantamento de questões *de e sobre* a ciência que permeiam o desenvolvimento dos estudos físicos que levou Márcia Barbosa a ser premiada. Após isto, sugere-se a construção de um quadro com os estudantes que resuma o que foi destacado por eles ao responderem os questionamentos feitos após a realização dos experimentos e, dessa forma, socializar os conhecimentos prévios dos alunos. Ressalta-se que não se almejam respostas ‘certas’ e únicas, mas o diálogo e a socialização de reflexões em sala de aula.

### **Proposição de situações-problema**

Esse aspecto sequencial de uma UEPS procura, em um nível introdutório,

levantar questões que preparam o ambiente para a introdução do conhecimento que será discutido. Tais perguntas devem levar em conta o conhecimento prévio dos alunos. Logo, cada professor pode fazer adaptações em sua prática. No entanto, algumas características devem ser levadas em consideração na hora de elaborar as questões: devem envolver o tópico em pauta e os alunos devem entendê-los como problemas possíveis de modelar mentalmente com os conhecimentos prévios manifestados anteriormente. Para as situações-problema pode-se utilizar também simulações, vídeos e demonstrações experimentais, entre outros. Na UEPS desta proposta são descritas algumas situações-problema que se baseiam nas concepções alternativas apontadas pela literatura sobre o tema. No entanto, cabe a ressalva de que cada professor que irá utilizá-las pode, e deve, fazer adaptações, dependendo das características específicas de sua turma.

### **Apresentação do conhecimento a ser abordado**

Uma vez discutidas as situações-problema, o próximo aspecto sequencial é apresentar o conteúdo a ser abordado. Tal apresentação deve levar em consideração os princípios da teoria de Ausubel, a saber: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, consolidação e organização sequencial. Para a proposta aqui desenvolvida, produziram-se slides (disponibilizados no sítio supracitado). Nele, frisa-se, também está disponível todo o material de apoio necessário para o professor e aluno terem elementos para interagir com o material instrucional de maneira mais profícua.

### **Abordagem do conhecimento em um nível mais alto de complexidade**

Uma vez tendo discutido de maneira introdutória o conteúdo foco da unidade, esse momento propicia o levantamento de algum aspecto específico do conteúdo que está sendo apresentado. Nesta proposta de UEPS parece bastante natural que o aprofundamento esteja relacionado à física contemporânea estudada por Márcia Barbosa e seu grupo, isto é, o superfluxo da água, e a como tal estudo pode contribuir para permitir um processo de dessalinização da água mais viável. Além disso, essa abordagem pode colaborar para uma conscientização de que os recursos natu-

rais de nosso planeta são limitados e seu uso com parcimônia deve ser uma responsabilidade de todos.

### **Retomada das características mais relevantes**

Em continuidade à discussão em um nível de complexidade maior, o próximo aspecto sequencial sugere (por meio de textos de apoio e apresentação de slides) que se retomem os aspectos mais gerais das questões abordadas até então, permitindo enxergar o conteúdo todo como uma unidade de ensino. Nesse sentido, na UEPS foco deste artigo, optou-se por discutir o congelamento dos rios e lagos e ainda contextualizar como a densidade anômala da água permite a vida marinha.

### **Avaliação da aprendizagem na UEPS**

As avaliações devem evitar serem apenas verificadoras e ao final da instrução. Uma sugestão é realizá-las ao longo da UEPS por meio de diversas atividades. As avaliações podem ser somativas e, como exemplo, o professor pode construir tabelas para acompanhar cada evidência de aprendizagem significativa durante a realização das atividades. Moreira sinaliza, no entanto, a importância de uma avaliação somativa individual. Nesse caso, ela pode trazer “questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência” [18, p. 46]. A avaliação sugerida envolve aspectos de e sobre a ciência, procurando identificar evolução conceitual nessas áreas.

**As avaliações devem evitar serem apenas verificadoras e ao final da instrução. Uma sugestão é realizá-las ao longo da UEPS por meio de diversas atividades**

### **Avaliação da UEPS**

Uma UEPS somente será exitosa se ao final de sua aplicação houver indícios de aprendizagem significativa. Lembrando que, segundo Moreira: “aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso a ênfase em evidências, não em comportamentos finais” [18, p. 46]. Caso não haja tais indícios de aprendizagem significativa, cabe ao professor reavaliar a atividade e modificá-la para atividades futuras. Nessa UEPS sugeriu-se que, em grande grupo, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas e seu próprio aprendizado.

### **Considerações finais**

A importância do reconhecimento de mulheres cientistas tem impacto, ainda

## Anexo

UEPS: Para Ensinar Física Moderna Construída com a Ajuda da Física Brasileira Premiada Internacionalmente Márcia Barbosa

**Objetivo:** apresentar a carreira de Márcia Barbosa e os estudos físicos que a levaram a ser premiada internacionalmente, além de vislumbrar possíveis desdobramentos do trabalho dela e de seu grupo de pesquisa.

**1. Situação inicial:** sugere-se aos alunos que desenvolvam dois experimentos propostos no Roteiro de experiências, entregue a cada um deles: “Termômetro de água” e “Flutua ou afunda”. Ressalta-se, nesse momento, que o objetivo dessa atividade experimental é a de levantar concepções a respeito dos temas, não estando os alunos sendo avaliados pelas respostas, e sim pela participação nas atividades. Após eles realizarem os experimentos, levantam-se questionamentos referentes ao primeiro experimento: (i) O que acontece com o volume de uma substância quando a temperatura dela aumenta? (ii) O que acontece com o volume de uma substância quando a temperatura dela diminui? (iii) Todas as substâncias se comportam da maneira como foi descrito nas duas primeiras perguntas ou existem exceções? Se sim, quais são elas? Para o segundo experimento: (i) Se a massa é a mesma, por que o comportamento é diferente? (ii) Se sólidos são mais densos (normalmente) que os líquidos, porque o gelo flutua? Essas questões podem ser respondidas em grupo e, depois de um tempo destinado às discussões sobre elas, o professor pode construir um quadro com o resumo das respostas dadas, procurando com isso fomentar a reflexão: além das respostas sintetizadas, existe algo mais a ser acrescentado?

**2. Situações-problema:** visando levantar as concepções prévias dos alunos, realizam-se duas atividades. A primeira delas consiste em apresentar aos estudantes o vídeo “STAR STUFF – poeira das estrelas”, disponível em <https://youtu.be/VwxtgSn3l10>. Em seguida, explicita-se que o vídeo é uma pequena biografia de um dos mais famosos cientistas da segunda metade do século XX, Carl Sagan. Após isso, sugere-se que os alunos respondam, individualmente, às seguintes questões: (i) Por quem a ciência é produzida? (ii) O que é necessário para ser um bom cientista? (iii) Brasileiros são bons cientistas? (iv) Você saberia citar algum cientista homem famoso? E uma mulher cientista? E um(a) cientista brasileiro(a)? (v) Alguém nesta sala poderia ser um(a) bom(boa) cientista? Por quê? Posteriormente, o professor mediará uma discussão em grande grupo procurando escrever no quadro as possíveis conclusões da turma. A segunda atividade desse segmento da unidade consiste em apresentar e disponibilizar a letra da música “Planeta Água” de Guilherme Arantes aos alunos e propor que, individualmente, eles respondam às seguintes questões: (i) A água é muito abundante no nosso planeta, compondo  $\frac{3}{4}$  da Terra. Nesse sentido, será mesmo que corremos o risco de passar por um racionamento nos próximos anos? (ii) Grande parte das pessoas sabem que a molécula de água é  $H_2O$ ; será que a física/química da água é complicada ou relativamente simples? (iii) Você já ouviu falar de algum cientista brasileiro famoso por estudar e explicar muitas coisas sobre a água? Novamente, após os alunos responderem e refletirem sobre as perguntas levantadas, o professor deverá mediar uma discussão, procurando escrever no quadro as possíveis conclusões da turma.

**3. Revisão:** iniciar uma aula de revisão utilizando a Apresentação de slides 1. As questões ali colocadas são: (i) Tudo que ouvimos falar sobre a “ciência” é feito com a mesma metodologia? (Existe um jeito certo de fazer ciência? Existe uma forma única de fazer ciência? Existe apenas um perfil de cientista?) (ii) Brasileiros são bons de ciência? Existem brasileiros famosos no mundo da ciência? E as mulheres brasileiras? Após apresentar como um exemplo de cientista mulher brasileira a física Márcia Barbosa, levantar a seguinte questão: (ii) o que levou Márcia Barbosa a ser premiada e reconhecida internacionalmente?

**4. Nova situação-problema, em um nível alto de complexidade:** por meio da Apresentação de slides 2, busca-se problematizar a escassez de água potável que atingirá metade dos habitantes do planeta em poucos anos. Nesse sentido, suscitam-se as seguintes questões: (i) Por que a escassez de água preocupa a humanidade, ou parte dela ao menos, sendo que ela é tão abundante? (ii) É possível produzir água potável a partir da água do mar atualmente? Caso afirmativo, de que modo isso é feito? (iii) Como o grupo liderado por Márcia está contribuindo para ajudar a resolver a questão da dessalinização da água?

**5. Avaliação somativa individual:** as avaliações deverão acontecer por meio de questões abertas que exijam o máximo de transformação no conteúdo abordado. Não deverão ser utilizadas questões que tenham respostas que possam ser encontradas no material instrucional sem uma reflexão prévia. Exemplo desse tipo de avaliação pode ser encontrado no arquivo AvaliaçãoS1.

**6. Aula expositiva dialogada integradora final:** usando a Apresentação de slides 3, retoma-se todo o conteúdo da UEPS de forma integradora, revendo as questões colocadas na Apresentações de slides 1 e 2. Para além disso, procura-se fazer uma integração geral das discussões geradas ao longo da unidade de e sobre ciência com o intuito de desconstruir a ideia limitada e ingênua de que a ciência é produzida, avaliada e acessível somente a privilegiados. Por fim, traz-se a reflexão: quem pode fazer e gostar de ciência?

**7. Avaliação da aprendizagem na UEPS:** deverá estar baseada na participação nas atividades dos alunos, nas observações feitas em sala de aula e na avaliação somativa individual, cujo peso não deverá ser superior a 50%.

**8. Avaliação da própria UEPS:** sugere-se que, em grande grupo, os alunos avaliem as estratégias de ensino empregadas na UEPS e seu próprio aprendizado. Além disso, o docente deverá avaliar a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos e, se necessário, reformular algumas atividades.

**Total de aulas:** 9 a 12.

que não diretamente, no ensino de ciências. A contextualização do prêmio, assim como de Márcia, neste artigo, evidencia que a ciência é desenvolvida por mulheres, inclusive. Nesse sentido, propostas como a UEPS aqui apresentada permite, além da discussão de conteúdos físicos e a valorização de mulheres no desenvolvimento do conhecimento, o rompimento de uma imagem estereotipada de ciência como exclusiva para homens dotados de genialidade.

Watanabe e cols. [19] ressaltam que visões desse tipo envolvem o pressuposto de que pessoas “especiais” seriam dotadas de atributos que a maioria não possui e, não bastasse isso, seria missão delas a busca pelo conhecimento científico. Logo, não parece difícil entender por que vários estudantes não se sentem motivados para aprender e participar do empreendimento científico – eles não se enxergam como parte da minoria especial que pode produzir e entender a ciência.

Nesse caso, o abismo entre a ciência

idealizada e a ciência real desmotiva os alunos e ocasiona um grave problema pedagógico que impossibilita a construção de uma aprendizagem significativa: não há predisposição em aprender. Essa é uma das condições necessárias que Ausubel preconiza para que haja aprendizagem significativa [20]; sem ela, nenhum material potencialmente significativo poderá evitar, na melhor das hipóteses, uma aprendizagem mecânica.

O estudo das diversas anomalias da água, contextualizado junto a Márcia e o reconhecimento que ela recebeu internacionalmente, é uma possibilidade, como se argumenta neste artigo, de motivar estudantes – e estudantes mulheres – a olharem para a ciência como ela realmente acontece. Além disso, analisá-la por meio de seus protagonistas, neste caso uma física brasileira. A importância dada ao grupo a que ela pertence ainda contribui para que os estudantes percebam que a ciência é, acima de tudo, coletiva; seja porque os estudiosos interagem diretamente entre si,

seja porque o conhecimento tem que ser divulgado, avaliado e reconhecido por seus pares. Ademais, os desdobramentos desses estudos com a água para a dessalinização do mar, por exemplo, é tema atual e instigante. Além de tudo, essas questões de física contemporânea e suas possíveis aplicações tecnológicas estão quase sempre ausentes em materiais instrucionais disponíveis aos professores da educação básica. Logo, o presente artigo procurou fazer essa abordagem juntamente com uma proposta de como levá-la até a sala de aula, fazendo uma aproximação entre a pesquisa em física contemporânea com o ensino de física.

Por certo, buscou-se mostrar que no Brasil se produz ciência de qualidade reconhecida internacionalmente e, ainda, que grandes físicos brasileiros são mulheres. A ciência, de fato, pode ser entendida e produzida por quem tiver interesse. Parafraseando uma frase famosa da causa feminista: *lugar de ciência é onde alguém a quiser.*

## Referências

- [1] D. Gil Pérez, I.F. Montoro, J.C. Alís, A. Cachapuz e J. Praia, *Ciência & Educação* **7**, 125 (2001).
- [2] I. Fernández, D. Gil, J. Carrascosa, A. Cachapuz, J. Praia. *Enseñanza de las Ciencias* **20**, 477 (2002).
- [3] J.F.K. Köhnlein e L.O.Q. Peduzzi, in: *Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências*. Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, 2002 (CD-ROM).
- [4] M.A. Moreira e F. Ostermann, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **10**, 108 (1993).
- [5] B.A. Moura, *Revista Brasileira de História da Ciência* **7**, 32 (2014).
- [6] A.F.P. Martins, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 703 (2015).
- [7] D.P. Menezes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**, 341 (2017).
- [8] D.P. Ausubel, J.D. Novak e H. Hanesian, *Psicologia Educacional* (Interamericana, Rio de Janeiro, 1980).
- [9] M.C. Barbosa, *eBFIS* **4**, 5101 (2015).
- [10] M.C. Barbosa, *Simplifísica - Superfluxo de Água e Suas Aplicações na Dessalinização de Água do Mar*, disponível em <https://youtu.be/bb5Qt8nroKs>, acesso em junho de 2017.
- [11] M.C. Barbosa, *Simplifísica: Água e Outros Líquidos Complexos*, disponível em <https://youtu.be/4z01XXa4Nlw>, acesso em junho de 2017.
- [12] M. Chaplin, *Seventh-two Anomalies of Water*, disponível em <http://www.lsbu.ac.uk/water/anmlies.html>, acesso em junho de 2017.
- [13] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- [14] G.S. Kell, *J. Chem. Eng. Data* **20**, 97 (1975).
- [15] P.A. Netz, F.W. Starr, H.E. Stanley, H.E. and M.C. Barbosa, *J. Chem. Phys.* **115**, 344 (2001).
- [16] J.R. Bordin, A. Diehl and M. C. Barbosa, *J. Phys. Chem. B* **117**, 7047 (2013).
- [17] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa em Revista* **1**, 43 (2011).
- [18] L.O.Q. Peduzzi e A.C. Raicik, *Sobre a Natureza da Ciência: Aserções Comentadas para uma Articulação com a História da Ciência*, disponível em [http://docs.wixstatic.com/ugd/7d71af\\_02eff5d587b493691e16fa564cbc469.pdf](http://docs.wixstatic.com/ugd/7d71af_02eff5d587b493691e16fa564cbc469.pdf), acesso em junho de 2017.
- [19] G. Watanabe, G.W. Caramello, R. Ribeiro, I. Gurgel. *Lat. Am. J. Phys. Educ* **6**, Suppl. I (2012).
- [20] E.A.S. Masini e M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa: Condições Para Ocorrência e Lacunas que Levam a Comprometimentos* (Vetor Editora, São Paulo, 2008).

Visite o site Física Premiada:  
Física Premiada, <https://ge2dic.wixsite.com/fisicapremiada>.

# Proposta didática baseada em videoanálise para fomentar a redução da abstração e a aprendizagem significativa no estudo da física: Aplicação aos movimentos circulares



.....  
**Thiago Mello dos Reis**

Instituto Federal do Espírito Santo,  
Campus Centro-Serrano, Santa Maria  
de Jetibá, ES, Brasil

E-mail: thiago.mello@ifes.edu.br  
.....

## Introdução

A utilização de tecnologias no ensino de diversas ciências aumenta constantemente. A crescente disponibilidade de tecnologia de custo relativamente baixo facilita a imersão do ensino de ciências na era digital. Inúmeras aplicações para o ensino dos mais variados tipos de conteúdo têm sido testadas e têm produzido bons resultados no que tange à Aprendizagem Significativa [1] dos estudantes. Matemática [2], biologia [3,4], física [5] e línguas [6] são alguns exemplos de aplicações exitosas.

Além de disciplinas no escopo do nível médio, também existem perspectivas e propostas para a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) no ensino superior [7], métodos computacionais facilitadores de aprendizagem [8] e projetos bem sucedidos em cursos específicos [9,10].

O ensino de física no nível médio tem se caracterizado historicamente como um grande desafio para os professores. O elevado nível de abstração e as formulações matemáticas das modelagens dos problemas típicos são os principais fatores que alimentam esse processo histórico indesejado [11]. Em relação à utilização da matemática, as estratégias recorrentes são a contextualização e a dedução das equações. A despeito de todo o progresso da física teórica nos últimos anos, a física é uma ciência essencialmente experimental. Essa característica da disciplina nem sempre possibilita a dedução analítica das principais equações estudadas no ensino médio. Nesse contexto, a visualização dos fenômenos ensinados configura-se como

uma estratégia eficaz na tentativa de reduzir a abstração do conteúdo. Em diversas circunstâncias, realizar experimentos práticos em sala de aula é uma tarefa relativamente difícil, tendo em vista a natureza de alguns fenômenos. Todavia, o estudo dos movimentos proporciona a utilização de experimentos cotidianos [12].

Neste trabalho, utilizamos um mecanismo de videoanálise para ilustrar uma aplicação sob uma perspectiva de ensino de física baseada em recursos computacionais de custo relativamente baixo. A ideia central do trabalho é apresentada a partir

**O ensino de física no nível médio tem se caracterizado historicamente como um grande desafio para os professores. O elevado nível de abstração e as formulações matemáticas das modelagens dos problemas típicos são os principais fatores que alimentam esse processo histórico indesejado**

da exposição de uma sequência didática [13] específica para o conteúdo ilustrado. A partir de um fenômeno criado em sala de aula pelos próprios estudantes, damos início ao estudo dos movimentos circulares, promovendo uma interação digital com o fenômeno criado. Após o término da aula, fizemos questionamentos diretamente aos estudantes envolvidos, no intuito de avaliar a eficácia da aula dada. Uma série de perguntas foram feitas e, a partir delas, pôde-se concluir que a metodologia possui grande capacidade de fomentar engajamento e, por conseguinte, promover aprendizagem significativa.

## Metodologia

Para verificarmos a ideia proposta por este trabalho, utilizamos equipamentos de custo relativamente baixo para prepararmos a aula em que a sequência didática específica foi aplicada. Ressaltamos que a proposta levantada por este trabalho não se restringe ao conteúdo específico para o qual foi aplicada, sendo possível trabalhar a ideia central apresentada no estudo de

Uma proposta didática para o ensino dos movimentos, no contexto da disciplina física para estudantes de nível médio, é apresentada. Discussões sobre o nível de engajamento dos estudantes em relação aos métodos tradicionais são feitas. A eficácia da proposta apresentada neste trabalho é atestada a partir de uma investigação do tipo qualitativa e exploratória. A metodologia apresentada foi verificada durante o estudo do tema "movimentos circulares". Os resultados mostraram que a metodologia exposta neste trabalho trouxe maior engajamento durante a aula, maior compreensão de fenômenos cotidianos relacionados aos movimentos circulares e aprendizagem significativa. A proposta apresentada mostrou-se flexível para aplicações correlatas em estudos de outros tipos de movimentos. Logo, é possível transpor as ideias discutidas neste trabalho para iniciar o estudo de movimentos além dos movimentos circulares, com foco em cinemática e dinâmica.

outros tipos de movimentos em física. Similarmente, pode-se transpor a metodologia sugerida para outras disciplinas.

Com o intuito de ministrar uma aula inicial sobre “Movimentos Circulares” para estudantes do primeiro ano do ensino médio de uma escola pública, iniciamos uma discussão acerca da situação cotidiana, muito conhecida dos adolescentes, em que uma pedra é amarrada na extremidade de uma corda para ser rotacionada. A discussão foi conduzida expondo os aspectos lúdicos desse movimento circular. A Fig. 1 mostra esse arranjo experimental criado em sala de aula. Visando atrair a atenção dos alunos, o objeto amarrado na extremidade da corda, para simular a pedra, foi a borracha de um dos estudantes. O problema levantado foi o seguinte: suponha que eu queira arremessar uma pedra o mais longe que eu puder, por que é comum amarrá-la em uma corda e rotacioná-la em vez de simplesmente arremessá-la diretamente com as mãos?

O momento seguinte foi pautado em uma ideia cada vez mais presente em nosso cotidiano, o processamento das informações observáveis em um ambiente virtual e as diversas possibilidades que temos de interagir física e virtualmente com um fenômeno real. Com o auxílio de um tablet munido de sistema operacional *IOS*, utilizamos o dispositivo *AppleTV* para fazer o espelhamento do dispositivo com um computador. No Apêndice, são elencadas outras maneiras, gratuitas e pagas, de se fazer o pareamento entre os dispositivos para a implementação da ideia apresentada neste trabalho. A Fig. 2 mostra o pareamento utilizado.

Os detalhes desse pareamento, bem como outras informações sobre sincronismo de *tablets* e celulares com compu-

**O fato de ser possível sobrepor a projeção feita no quadro com marcador para quadro branco torna o procedimento didático mais próximo de uma interação direta entre o estudante e o fenômeno em discussão**



(a) Vista do tablet.



(b) Tablet espelhado no computador.

Figura 2: Tablet espelhado no computador.

tadores, são apresentados no Apêndice. Um dos estudantes veio à frente e girou a borracha por meio da corda em uma região próxima ao chão da sala de aula. A câmera do tablet foi utilizada para registrar o movimento de modo a ser captada uma vista superior do fenômeno. Simultaneamente, os demais alunos acompanhavam o movimento que estava projetado no quadro branco por meio de um sistema do tipo *data show*. Em dado momento, foi solicitado ao estudante que girava a

borracha que soltasse a corda, encerrando assim o experimento. A interação dos alunos com a aula no nível apresentado caracteriza um processo correlato às discussões sobre aprendizagem

ativa. Os bons resultados desse tipo de prática têm sido apresentados em estudos diversos [14–16].

O próximo estágio consistiu na análise das imagens coletadas. Em todas as análises feitas, variáveis introduzidas e discussões iniciadas, mantivemos a dialética com o paralelo lúdico estabelecido no início da aula. Ou seja, voltamos à essência da “brincadeira” de se amarrar uma pedra na extremidade de uma corda e girá-

la de modo a fazer com que ela ganhe mais velocidade. Primeiramente, definimos o movimento circular como sendo aquele em que o objeto percorre uma trajetória como a projetada no quadro. A Fig. 3 ilustra a trajetória representada no quadro.

A partir de então, as variáveis típicas do movimento circular foram definidas. Raio, velocidade linear e angular, aceleração linear e angular, entre outras. O aspecto particularmente interessante nesse contexto foi a construção feita concomitantemente ao desenvolvimento virtual do fenômeno criado. O fato de ser possível sobrepor a projeção feita no quadro com marcador para quadro branco torna o procedimento didático mais próximo de uma interação direta entre o estudante e o fenômeno em discussão. A Fig. 4 ilustra a representação de algumas variáveis do movimento circular uniforme.

Durante a elaboração da imagem observada na Fig. 4, as velocidades e os raios da trajetória foram desenhados enquanto o vídeo era exibido em câmera lenta. Esse contexto foi importante para que houvesse uma maior interação entre o estudante e o fenômeno. Em todo o processo, o estudante acompanhou o movimento da borracha por meio do vídeo. Essa visualização integral do fenômeno



Figura 1: Arranjo experimental utilizado na aula introdutória sobre movimentos circulares.



(a) Imagem projetada.



(b) Trajetória construída.

Figura 3: Interação entre a imagem projetada e o quadro branco.

tende a promover maior engajamento na exposição do conteúdo.

Tendo em vista que os estudantes já possuem compreensão sobre os conceitos prévios necessários – a saber: espaço, trajetória, deslocamento, velocidade e aceleração –, a relação da imagem observada com os conteúdos que são pré-requisitos para o estudo dos movimentos circulares é significativamente facilitada. Desta forma, os estudantes ficam aptos a esclarecerem dúvidas relacionadas aos movimentos retilíneos e assim apreenderem o escopo dos movimentos circulares de forma holística e estruturada. Os dois pontos representados na Fig. 4 estão destacados para fornecer ao estudante uma ideia mais clara acerca da velocidade linear. Tipicamente, os alunos expressam grandes dificuldades na compreensão da variação do vetor velocidade. Mesmo para movimentos circulares uniformes, o vetor velocidade varia porque, apesar de a velocidade permanecer constante, a direção e o sentido do vetor variam a todo instante. O objetivo de representar dois pontos da trajetória na Fig. 4 é tornar visível que, se a borracha se mantém na trajetória circular, é porque, de fato, o vetor velocidade muda de direção e o sentido, como ilustrado nos instantes 1 e 2 destacados na Fig. 4.

A interação final com o ambiente virtual encerrou-se com o desligamento do projetor. A Fig. 5 ilustra a imagem final que foi construída durante a aula.

Quando o projetor foi desligado, tínhamos a figura característica dos movimentos circulares, a qual foi construída partindo-se de uma videoanálise que utilizou um fenômeno produzido por um estudante em sala de aula. A aula seguiu no padrão tradicional em que exemplos e exercícios foram aplicados de forma expositiva.

Objetivando promover um tratamento do tipo qualitativo e exploratório para o problema sob investigação neste trabalho, levantamos um questionário verbal com perguntas abertas para os estudantes. Durante essa arguição informal, o foco das

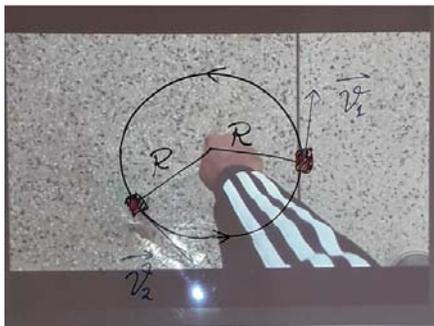
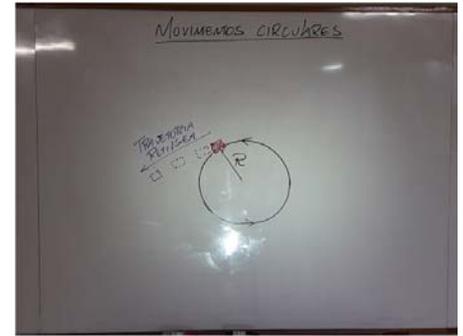


Figura 4: Representação das variáveis velocidade e raio.



(a) Traços sobrepostos à projeção.



(b) Projeção retirada.

Figura 5: Momento em que o projetor é desligado.

questões foi as impressões gerais da aula e da metodologia aplicada.

### Resultados e discussões

Neste trabalho, utilizamos ferramentas eletrônicas acessíveis no ambiente escolar e de custo relativamente baixo para apresentar uma sequência didática que se enquadra dentro de um paradigma eficaz no ensino dos movimentos para estudantes de nível médio na disciplina física. Esse procedimento envolve um mecanismo de videoanálise em que propomos a aproximação do ambiente de sala de aula com a realidade tecnológica que se fará presente nos próximos anos, ou seja, a interação entre os objetos físicos observáveis e o processamento digital de dados.

Os estudantes envolvidos sinalizaram muito positivamente acerca da metodologia utilizada na aula. Inúmeras respostas coletadas confirmam as ideias levantadas na problemática sobre aprendizagem ativa. Dentre as respostas dos estudantes, frases como “...Pela primeira vez eu prestei atenção do início ao fim da aula...”, “É bem mais interessante estudar com alguma coisa que a gente tá vendo o que é...” e “A aula fica mais dinâmica e assim é melhor pra acompanhar...” mostram que trazer o estudante para a construção coletiva do conhecimento promove melhores resultados em relação ao engajamento.

Tendo-se em vista o nível de compreensão dos estudantes em relação aos conteúdos apresentados, a avaliação foi verificada por meio de exercícios do próprio livro. Esse é outro aspecto satisfatório no contexto abordado: a interação virtual proposta tende a otimizar substancialmente o tempo em sala de aula. Logo, foi possível, em uma única hora-aula, apresentar os

aspectos teóricos iniciais e aplicar exercícios do livro-texto para os estudantes. Os alunos responderam às questões individualmente e apenas solicitaram o professor para dúvidas acerca de operações matemáticas. Nenhuma dúvida conceitual acerca dos movimentos circulares foi levantada.

Embora a apresentação deste relato se concentre em uma aula introdutória sobre movimentos circulares, em que apenas os aspectos mais básicos do fenômeno são exibidos, existem inúmeras possibilidades para a ampliação dos conteúdos a serem explorados em sala de aula partindo-se da ideia abordada neste trabalho. Além das variáveis ilustradas na Fig. 4, outras grandezas podem ser discutidas por meio da mesma estratégia de interação com a imagem do fenômeno criado em sala de aula. Os estudos referentes à cinemática podem incluir

as variáveis aceleração, distância, período e frequência. Analogamente, podemos explorar a dinâmica do movimento circular construído por meio da representação gráfica das forças.

Em relação aos estudos sobre cinemática, podemos explorar

mais as Figs. 4 e 5. No momento em que estamos definindo as variáveis velocidade e raio da trajetória, a ideia da aceleração direcionada para o centro da curva pode ser apresentada. Essa discussão pode ser feita tendo-se em vista os conceitos prévios dos estudantes. Até este momento do estudo da cinemática, o estudante está relativamente bem familiarizado com o conceito de aceleração como sendo a responsável por promover variação de velocidade em um movimento. O apelo visual trazido pela metodologia apresentada favorece a alusão vetorial dessas ideias. Conceber vetorialmente as grandezas cinemáticas mais comuns nem

**Esse procedimento envolve um mecanismo de videoanálise em que propomos a aproximação do ambiente de sala de aula com a realidade tecnológica que se fará presente nos próximos anos, ou seja, a interação entre os objetos físicos observáveis e o processamento digital de dados**

sempre é tarefa fácil para os estudantes. Assim, desenhar adequadamente essas grandezas partindo-se das Figs. 4 e 5 é reduzir significativamente a abstração que alguns desses conceitos carregam. Por fim, destacam-se as oportunidades de conceituarmos adequadamente as grandezas velocidade linear, velocidade angular, período e frequência. O fato de o movimento ilustrado ser de simples compreensão favorece o entendimento do conceito de período e frequência. As analogias típicas com os movimentos de rotação e translação da Terra ficam facilitadas

quando comparadas com as imagens apresentadas na Fig. 5. Nesse sentido, fica simples a marcação de um ponto específico da trajetória como exibido na Fig. 3(b) e a contagem do tempo decorrido até que o objeto retorne a esse ponto. Similarmente, a Fig. 4 pode ser utilizada para a representação do ângulo descrito entre os instantes de tempo 1 e 2 para a conceituação da velocidade angular. Esse contexto oportuniza a definição da relação entre as velocidades angular, linear e o raio da trajetória como sendo  $v = \omega.R$ .

Alternativamente, a metodologia ilus-

trada permite estudar a dinâmica do movimento circular. Uma das possibilidades é a utilização da Fig. 3(b) para a representação da força centrípeta. Entre as dificuldades conceituais encontradas está a diferenciação entre a força centrípeta e a força (fictícia) centrífuga. A utilização da figura pode facilitar tal entendimento, tendo-se em vista que o desenho da força centrípeta será feito exatamente em cima da corda que mantém o movimento do corpo. Assim, espera-se que o estudante exerça que a força centrípeta deve ser compreendida como o agente físico que

## Apêndice

Os apêndice seguinte objetiva auxiliar professores e futuros usuários da metodologia proposta neste trabalho no manuseio das tecnologias necessárias. A discussão é feita acerca de algumas possibilidades sobre tecnologias disponíveis até a publicação deste trabalho, bem como as possibilidades de usá-las para os propósitos do mesmo.

### 1. Pareamento entre dispositivos móveis e computadores

Neste trabalho, utilizamos um dispositivo móvel com sistema *IOS* para realizar o espelhamento no computador. Todavia, trabalhar com dispositivos que utilizam este sistema nem sempre é tão simples. Existem outras alternativas relativamente mais simples que se baseiam na utilização de dispositivos que funcionam por meio do sistema operacional *Android*. Esse sistema, além de ser relativamente mais dinâmico, possui maior compatibilidade com softwares e hardwares típicos. O intuito deste Apêndice é destacar algumas formas de se parear dispositivos móveis com computadores visando dinamizar aulas expositivas. Para fins de categorização, dividiremos este Apêndice em duas seções. Na primeira, trataremos dos dispositivos que operam via sistema *IOS*. Na seguinte, serão abordadas as possibilidades de utilização do sistema operacional *Android*.

Observamos que a utilização de tablets foi decidida por uma questão de conveniência. As possibilidades que serão discutidas aqui também se aplicam a aparelhos celulares. A opção pelos tablets relaciona-se à limitação física do tamanho das telas dos telefones, visando tornar a imagem projetada maior, mas o que será abordado neste texto também se aplica aos *smartphones*.

#### 1.1. Sistema operacional *IOS*

A utilização desse tipo de sistema operacional é recomendada quando o usuário possui, além do dispositivo móvel, um computador ou notebook da empresa *Apple*. A Fig. \ref{fig:pareamento} ilustra o espelhamento entre o sistema *IOS* e um notebook que não possui o mesmo sistema operacional. Embora seja possível fazer este tipo de pareamento, não é a alternativa mais recomendada. A utilização de equipamentos com esse sistema operacional é também dificultada pelo custo relativamente alto dos dispositivos. Todavia, elencaremos algumas formas de se trabalhar com esse sistema operacional.

A forma mais efetiva de se realizar o espelhamento do tablet (*IPad*, no caso do sistema *IOS*) munido de sistema operacional *IOS* com um computador é por meio de um dispositivo da própria empresa *Apple* chamado *AppleTV*. Por meio desse hardware é possível integrar os equipamentos móveis com elevada qualidade de áudio e vídeo. O aspecto negativo desse mecanismo é o custo. Os aparelhos mencionados são caros e nem todos os possíveis leitores deste trabalho poderão ter acesso a eles.

Uma alternativa significativamente barata para efetuar o espelhamento do *IPad* é por meio de um software chamado *Reflector2*. Esse software não é gratuito, porém o custo da versão completa é relativamente baixo. (Quando da redação deste artigo, o valor era de cerca de 15 reais.) Por meio desse programa, é possível ter um dispositivo com sistema *IOS* pareado com um computador que opere via *IOS* ou *Windows*. Portanto, a vantagem desse programa é a não dependência de um computador específico.

#### 1.2. Sistema operacional *Android*

As melhores alternativas, relacionadas a custo e benefício, para se efetuar um pareamento entre dispositivos móveis e computadores são aquelas referentes ao sistema operacional *Android*. Além de significativamente mais integráveis, os equipamentos que operam com esses sistemas são, em geral, mais baratos. A seguir, apresentamos alguns aplicativos e programas que possibilitam o pareamento entre dispositivos para os fins levantados neste trabalho.

Três aplicativos gratuitos serão destacados. O primeiro é o “*MirrorGo*”, que possibilita uma visão ligeiramente difusa do celular por meio do computador. Para os fins levantados neste trabalho não seria a melhor alternativa, todavia se configura como uma possibilidade. O segundo é o “*AirDroid*”, que opera por meio de um aplicativo e um programa de computador. Nesse caso, o usuário precisará instalar ambos para que consiga efetuar o espelhamento. A qualidade do espelhamento, nesse caso, dependerá da conexão Wi-fi da rede em que os equipamentos estiverem ligados. Esse software também possibilita a conexão entre os equipamentos por meio de cabo USB. Em geral, essa alternativa não é muito utilizada, pois restringe movimentações durante as aulas. O terceiro aplicativo é o “*ScreenMirror*”. Essa é a forma mais recomendável para se fazer o espelhamento. Para essa alternativa, necessita-se apenas do aplicativo. O espelhamento com o computador é feito via o browser instalado no computador. O fato de ser compatível com qualquer navegador torna esse método significativamente prático.

A utilização dos equipamentos com sistema operacional *Android* é mais recomendada porque depende de menos pré-requisitos técnicos que aqueles que trabalham com sistema *IOS*. Logo, recomenda-se que professores e palestrantes optem, sempre que possível, por esse sistema.

mantém o movimento circular. Ademais, a segunda lei de Newton também pode ser facilmente compreendida por meio de uma ilustração adequada sobreposta à imagem da Fig. 3. Como as grandezas aceleração e força são vetoriais, a descrição matemática da segunda lei de Newton fica compreendida por meio de um diagrama simples, em que a força e a aceleração estarão sobre a mesma linha reta (definida pelo raio da trajetória), o que corrobora a proporcionalidade dessas grandezas estabelecida pela lei de Newton  $F = m \cdot a$ . Como essas descrições podem requerer mais do que o tempo de aula

**O trabalho apresentado expõe uma perspectiva positiva em relação ao inevitável cenário futuro, ou seja, a conexão de praticamente tudo que existe à internet**

mencionado neste trabalho, essas discussões podem ser feitas em aulas distintas, sem potencial perda de impacto na aprendizagem. Como a cinemática e a dinâmica são estudadas separadamente, a metodologia proposta pode ser aplicada em mais de um encontro com os estudantes, no intuito de cobrir todas as discussões físicas sobre cinemática e dinâmica aqui levantadas.

A proposta apresentada visa a indicar um caminho para professores utilizarem recursos computacionais de maneira criativa e inovadora por meio da interação entre os ambientes real e virtual. O estudo dos movimentos na disciplina física possui grande potencial para aplicação da metodologia proposta. Analogamente aos movimentos circulares, outros tipos de movimentos podem ser abordados em sala de aula, tendo-se em vista as ideias apresentadas neste trabalho. Novamente, a criatividade do professor determinará as possibilidades de aplicação da ideia central levantada neste trabalho. Similarmente, o conteúdo do presente trabalho não se restringe à disciplina física, podendo ser

implementado em outras áreas do conhecimento, conforme as possibilidades dos conteúdos a serem trabalhados.

A produção efetiva de conhecimento no cerne cognitivo de um estudante não é uma ciência exata, de modo que existem diversas discussões em relação ao que se define como conhecimento. Tendo-se em vista uma perspectiva prática em relação ao conhecimento, ou seja, a capacidade que um indivíduo tem de transformar a realidade em que vive a partir de um conhecimento teórico, o trabalho apresentado é eficaz. Relacionar o meio em que o estudante está inserido com os conteúdos tende a produzir melhores resultados educacionais [17]. O presente trabalho caminha nessa direção, ou seja, relacionar o teor conteudista trazido por um livro-texto com a realidade cotidiana visível e tátil.

### Conclusões

A partir deste trabalho concluímos que a videoanálise é uma ferramenta eficiente e eficaz no estudo dos movimentos na disciplina física. Ademais, a avaliação positiva por parte dos estudantes em relação à metodologia apresentada evidencia que há grandes possibilidades de que a introdução de tecnologias de informação e comunicação no ensino tenha aplicações exitosas.

A ausência de dúvidas conceituais dos estudantes em relação ao conteúdo abordado mostra a aplicabilidade da metodologia proposta. Embora não seja possível afirmar que o método apresentado neste trabalho seja 100% eficaz em relação à comunicação de conceitos físicos sobre movimentos circulares ou outros tipos de movimentos, o exemplo aplicado ilustra

que este trabalho expõe uma metodologia apta a produzir resultados conteudistas satisfatórios em sala de aula.

Outras disciplinas (além da disciplina física) podem se apropriar da metodologia apresentada para a construção de sequências didáticas específicas. A limitação da técnica exibida está no tipo de conteúdo que será estudado, bem como na criatividade do professor em adequar os conteúdos que serão trabalhados.

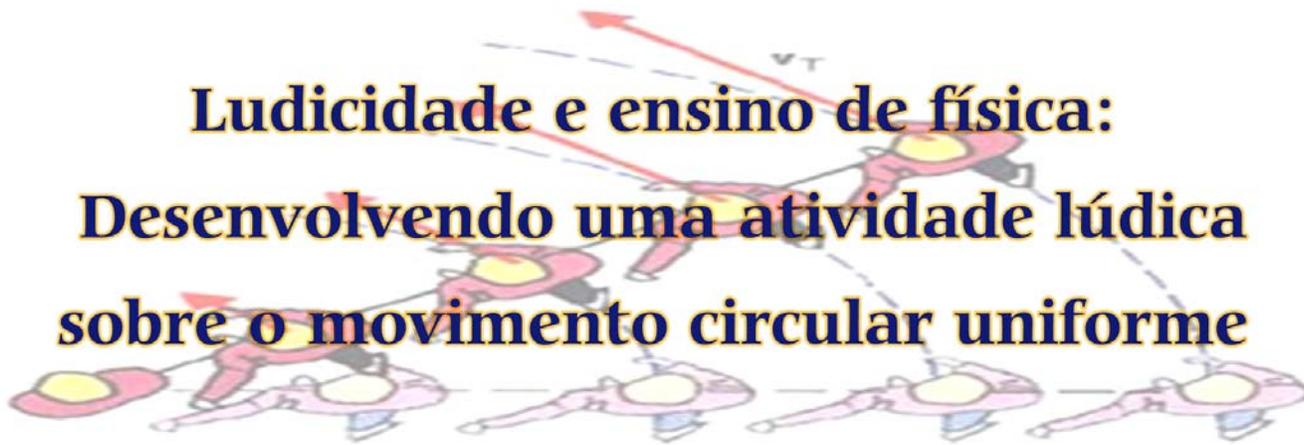
A utilização de ambientes virtuais de aprendizagem, sejam presenciais ou a distância, será cada vez mais importante no ensino. O fim da era digital e o início da era dos algoritmos inteligentes marcará esse aumento de relevância. Em pouco tempo, praticamente tudo estará conectado à internet. O trabalho aqui apresentado levanta uma possibilidade importante de trabalho futuro, ou seja, captar as informações de um fenômeno criado em sala de aula e levar esses dados para tratamento interativo no ambiente digital.

A internet das coisas surge em um momento em que o cenário global referente à interação do homem com o meio tátil está em constante transformação. Será cada vez mais comum associar os objetos físicos, ou seja, o mundo observável, à internet visando ao processamento de dados. Orientar os estudantes do atual ensino médio acerca dessa mudança é fundamental para que tenhamos uma sociedade futura apta a lidar com o novo mundo que se apresentará em breve. O trabalho apresentado expõe uma perspectiva positiva em relação ao inevitável cenário futuro, ou seja, a conexão de praticamente tudo que existe à internet. Dessa forma, iniciar as relações de ensino e aprendizagem nesse contexto será uma necessidade crescente. Este trabalho contribui para essa perspectiva e aponta caminhos para a inovação no ambiente educacional.

### Referências

- [1] D.P. Ausubel, *A Aprendizagem Significativa* (Moraes, São Paulo, 1982).
- [2] F.G. Teixeira e S.L. dos Santos, *Design & Tecnologia* **3**, 20 (2013).
- [3] D.E.P. Gianotto e R.E.D.S. Diniz, *Ciência & Educação* **16**, 631 (2010).
- [4] V.M. Trindade, B.S. Pastoriza, L.P. Vianna, C.G. Salbego e J.C. Del Pino, *Revista de Ensino de Bioquímica* **9**, 9 (2011).
- [5] I.K. de Oliveira Silva e D.S. de Araujo Faria, *Holos* **1**, 244 (2015).
- [6] F.M.V. da Costa, J.C.L. Ralha e C.G. Ralha, *Brazilian Journal of Computers in Education* **14**, 19 (2006).
- [7] G.P. Ávila-Fajardo e S.C. Riascos-Erazo, *Educación y Educadores* **14**, 169 (2011).
- [8] L.A. Daunt, P.I. Umeonusulu, J.R.F. Gladman, A.G. Blundell, S.P. Conroy and A.L. Gordon, *Age and Ageing* **42**, 541 (2013).
- [9] G.D. Sasso e M.D.L. Souza, *Texto & Contexto Enfermagem* **15**, 231 (2006).
- [10] E.S. Hoji, W.B. Vianna and T.A. Félix, *iJEP* **3**(S2), 39 (2013).
- [11] M.A. Moreira, *Uma Abordagem Cognitivista ao Ensino da Física* (Universidade Portucalense, Porto, 1983).
- [12] L.I. Leitão, P.F.D. Teixeira e F. Rocha, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias* **6**, 18 (2011).
- [13] A. Zabala, *A Prática Educativa: Como Ensinar* (Editora Artmed, Porto Alegre, 1998).
- [14] E.F. Barbosa e D.G. de Moura, *Boletim Técnico do Senac* **39**, 48 (2013).
- [15] G. Polya, *Revista do Professor de Matemática* **7**, 11 (1985).
- [16] L. Reis, *Estratégias de Aprendizagem Ativa para Reduzir o Fracasso Escolar: Papel do Psicopedagogo* (PROERD, Natal, 2010).
- [17] U. D'ambrósio, *Educação Matemática: da Teoria à Prática* (Papirus Editora, Campinas, 1996).

# Ludicidade e ensino de física: Desenvolvendo uma atividade lúdica sobre o movimento circular uniforme



.....  
**Márcio Henrique Simião Rodrigues**  
Universidade Federal do Pará, Belém,  
Belém, PA, Brasil  
E-mail: marcio\_ufpa011@hotmail.com

**Jéssica de Cassia Silva Pinon**  
Universidade Federal do Pará, Belém,  
PA, Brasil  
E-mail: pinon@ufpa.br

**Sarah da Silva Lopes**  
Universidade Federal do Pará, Belém,  
PA, Brasil  
E-mail: sarahlopes16@hotmail.com

**Ana Cristina Pimentel Carneiro de Almeida**  
Universidade Federal do Pará, Belém,  
PA, Brasil  
E-mail: anacrispimentel@gmail.com  
.....

## Introdução

**A** vida contemporânea requer, cada vez mais, a formação de pessoas críticas, intelectualmente autônomas e mais bem preparadas para responder aos seus desafios; desse modo, a escola, como um dos principais agentes de educação formal, vê-se instada a desenvolver um trabalho que promova a formação de alunos-cidadãos mais sensíveis ao contexto social em que estão inseridos e, para isso, o uso de metodologias inovadoras de ensino é uma estratégia eficaz e necessária. Dentre diversas possibilidades, o ensino por meio da ludicidade aparece como grande aliado. De acordo com Rau [1], o uso de atividades lúdicas como estratégia de ensino-aprendizagem tem muitas vantagens em relação ao ensino tradicional porque, além de atender a uma necessidade do ser humano em formação, proporciona a apropriação de categorias e conceitos formais de uma determinada área de conhecimento de forma prazerosa e divertida. Mas, isso requer um planejamento bem elaborado pelo professor para trabalhar com o lúdico, de modo que a atividade alcance o propósito cognitivo previsto sem que se perca seu aspecto prazeroso para o estudante.

Segundo Santos [2, p. 62], existe diferença entre o lúdico livre e o lúdico utilitário. No primeiro caso existe um certo grau de liberdade, pois os participantes não são obrigados a produzir qualquer tipo de conhecimento formal, priorizando as próprias vontades no desenvolvimento das atividades, o prazer e a liberdade de criação; já o lúdico utilitário tem como objetivo gerar uma aprendizagem, por meio da assimilação de conteúdos e de

processos cognitivos orientados para uma avaliação comportamental e até mesmo para fins terapêuticos. Neste segundo caso, o lúdico tem uma “utilidade”, um motivo para ser usado que pode auxiliar em um processo de aprendizagem.

Se o estudante não se sente à vontade para participar da atividade (neste caso, do jogo), a atividade não pode ser considerada lúdica. Em contrapartida, se o professor que está orientando tal atividade não se sentir à vontade com essa metodologia, mas a está realizando apenas por ordens da coordenação pedagógica ou motivados por outros fatores externos, a característica lúdica também se perderá. Para ser lúdico é preciso que tanto o professor quanto o aluno sintam prazer em desenvolver a atividade.

O jogo como atividade lúdica é uma importante ferramenta para o ensino, porém deve ser planejado com cuidado. “O jogo deve ter regras que sistematizam as ações dos envolvidos, mas a imaginação coloca a possibilidade de modificá-las de acordo com suas necessidades e seus interesses” [3]. Assim, para o desenvolvimento deste artigo foi elaborado um jogo que preza pela interação dos participantes, pelo trabalho em equipe, pelo cumprimento de regras que ditam o caminho a ser seguido e os objetivos a serem alcançados, além da exigência de coordenação

motora. As atividades realizadas tinham a intenção de tornar as aulas de física mais interessantes, alavancando a participação dos estudantes na discussão sobre os conceitos físicos trabalhados e potencializando

sua aprendizagem de maneira inovadora.

Nessa perspectiva de inovação no ensino de física, vários centros de pesquisa e diversos pesquisadores vêm refletindo e

**A escola moderna, instada a desenvolver um trabalho que promova a formação de alunos-cidadãos mais sensíveis ao contexto social em que estão inseridos, deve valer-se de metodologias inovadoras para o ensino**

Este trabalho apresenta uma experiência inovadora de ensino de física a partir da perspectiva de ensino-aprendizagem por investigação. Trata-se de uma atividade, realizada em turma do 1º ano do Ensino Médio em uma escola privada do Município de Castanhal, PA, que consistiu em ensinar conceitos do movimento circular uniforme (MCU) por meio de um jogo de interação entre os participantes, visando mostrar de forma prática e lúdica a relação entre velocidade linear de um corpo em MCU e o raio da trajetória circular. Previamente, foram realizadas discussões sobre o tema estudado e, em seguida, foram coletados os dados das variáveis para os cálculos necessários à apropriação dos conceitos trabalhados. As atividades foram realizadas na quadra de esportes da escola e os estudantes mostraram grande entusiasmo em participar.

buscando implementar mudanças, como é o caso do ensino com enfoque em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). De acordo com as premissas defendidas por essa abordagem, é preciso organizar uma ação educadora que priorize o papel do estudante como um investigador de sua aprendizagem, para que este possa desenvolver uma visão pessoal de mundo, com mais autonomia em relação aos conteúdos a que tem acesso [4]. O professor, por sua vez, desloca-se do papel de detentor do conhecimento e assume uma postura de tutor, mostrando possíveis caminhos a serem seguidos e orientando seus alunos na tomada de decisões mais acertadas no âmbito da área de conhecimento em que estão trabalhando. Assim, “não é só uma questão de tomada de consciência e de discussões epistemológicas, é também necessário um novo posicionamento do professor em suas classes para que os alunos sintam uma sólida coerência entre o falar e o fazer” [5].

Nesse novo modelo de educação, o papel do físico-educador configura-se de forma diferente da educação tradicional, pois, ao fazer a transposição didática do conteúdo, ele leva em consideração não somente o conteúdo em si mesmo, mas planeja visando diferentes estratégias de abordagem, de modo a tornar a aula interessante e convidativa. Esse novo docente não apenas apresenta fórmulas e teorias para preparar para provas e concursos; ele convida a pensar, a refletir criticamente sobre conceitos e sua formalização, visto que não adianta ensinar o conceito de carga elétrica sem fazer uma relação com o consumo e o processo de geração de energia elétrica para a sociedade e sua relação com o meio ambiente [6].

Nessa nova abordagem do ensino de física, o uso de atividades lúdicas torna-se um grande aliado, pois possibilita o manejo das inúmeras fórmulas e conceitos, despertando a curiosidade científica e o prazer em aprender essa disciplina tão importante. O lúdico é ferramenta educacional importante e necessária no trabalho com um público que está em transição de seu período da infância para a adolescência, pois busca aliar o sentimento de brincar e se divertir ao processo de ensino-aprendizagem de conceitos físicos por meio de uma experiência didática muito prazerosa e cognitivamente produtiva.

### Breve contextualização da experiência

Na escola em que foi realizada a experiência aqui relatada, o professor de física vinha encontrando muitos obstáculos em relação ao processo de ensino-aprendizagem. O maior deles estava relacionado ao fato de haver sido recentemente contratado em substituição ao antigo professor, que já acompanhava a turma desde o início do semestre letivo. Essa troca de docentes em pleno mês de junho, às vésperas da segunda avaliação anual, havia gerado uma expectativa na turma em relação ao trabalho do novo professor; os alunos faziam comparações entre os dois e, caso o novo professor não correspondesse às expectativas da turma, corria-se o risco de haver desinteresse e pouca participação nas aulas. Se, por outro lado, a turma percebesse que o novo professor mantinha o mesmo ritmo de trabalho do primeiro, o processo de ensino-aprendizagem se tornaria mais dinâmico.

Sensível a esse contexto, o novo professor percebeu que, para manter e até aumentar o rendimento acadêmico da turma, não apenas correspondendo a exigências institucionais, mas também despertando curiosidade e interesse científicos pela física, resolveu propor a realização de uma atividade que, além de atingir os propósitos de aprendizagem, fugisse da monotonia do cotidiano das aulas e incentivasse a maior participação dos estudantes.

No início do segundo semestre escolar, o assunto que estava sendo trabalhado com a turma do primeiro ano do Ensino Médio da escola em questão era mecânica (cinemática, dinâmica e estática). Nesse mesmo período, estavam acontecendo os Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro e, para

chamar a atenção dos estudantes para um dos temas desse conteúdo, movimento circular uniforme (MCU), o professor de física propôs a atividade aqui relatada, após a resolução de uma questão proposta no material didático da escola que apresentava cinco patinadores (Fig. 1) realizando um movimento de rotação conjunta e de maneira alinhada.

De acordo com a questão proposta, os alunos deveriam responder qual dos patinadores possuía maior velocidade linear. Tal questão gerou muita discussão na sala de aula, com diferentes respostas por parte dos estudantes. O intuito era mostrar-lhes a relação entre a velocidade do corpo e o raio da trajetória circular. Por meio da Eq. (1) para o cálculo da velocidade, temos:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \quad (1)$$

Partindo daí, é possível analisar que quando se mantém o período ( $T$ ) constante, a velocidade de um corpo em MCU é diretamente proporcional ao raio ( $R$ ); logo, quanto maior o raio, maior será a velocidade do corpo [7].

A fim de mostrar na prática a situação representada na imagem, porém com algumas adaptações para o espaço da escola, foi elaborado um jogo. Considerou-se para esse trabalho apenas a velocidade linear ( $v$ ) do corpo; a velocidade angular ( $\omega$ ) não foi abordada nessa atividade.

O professor explicou aos estudantes que as competições esportivas deixaram de ser apenas provas de resistência física, tornando-se também provas de inteligência, no sentido de que se vem cada vez mais aliando pesquisas científicas para melhorar o rendimento dos atletas e das áreas de competição. Esportes como o atletismo podem possibilitar grandes exemplos práticos para o ensino de temas da física como *lançamento oblíquo* e *equação*

**O professor desloca-se do papel de detentor do conhecimento e assume uma postura de tutor, mostrando possíveis caminhos a serem seguidos e orientando seus alunos na tomada de decisões**

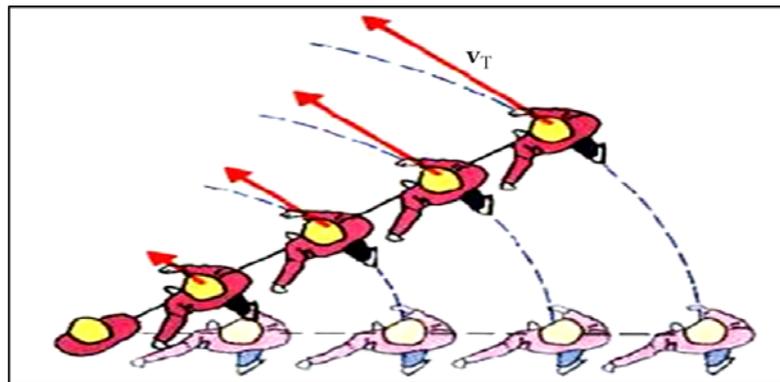


Figura 1: Imagem da questão passada aos estudantes. Fonte: Blog Geocities, Disponível em <http://www.geocities.ws/saladefisica8/cinematica/circular.html>.

horária da velocidade, entre outros. No caso deste trabalho, tomou-se como referência competições de patinação artística dos Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro para elaborar uma atividade visando à aprendizagem do conceito de velocidade linear de um corpo sujeito a um movimento circular uniforme (MCU).

### Atividade prática

Como já referido anteriormente, a atividade foi realizada em uma escola da rede particular de ensino do município de Castanhal/PA, com 20 alunos de uma turma do 1ª série do Ensino Médio, no início de agosto de 2016. Inicialmente a turma foi dividida em quatro equipes de cinco integrantes; após a formação das equipes, as regras do jogo foram explicitadas.

1ª Regra: Três integrantes da equipe

deveriam ter aproximadamente a mesma altura;

2ª Regra: Esses três integrantes deveriam dar voltas de maneira sincronizada ao redor do eixo central (Fig. 2);

3ª regra: os três integrantes devem ficar o tempo todo com os braços esticados (Fig. 3);

4ª regra: os integrantes não podem soltar as mãos durante o movimento em volta do eixo (Fig. 4).

O objetivo das equipes era dar o maior número de voltas em um intervalo de tempo de um minuto (60 s), sendo que para a volta ser considerada válida deveria obedecer as quatro regras do jogo. Venceria o jogo a equipe que desse o maior número de voltas corretas no tempo determinado. Após a explicitação das regras,

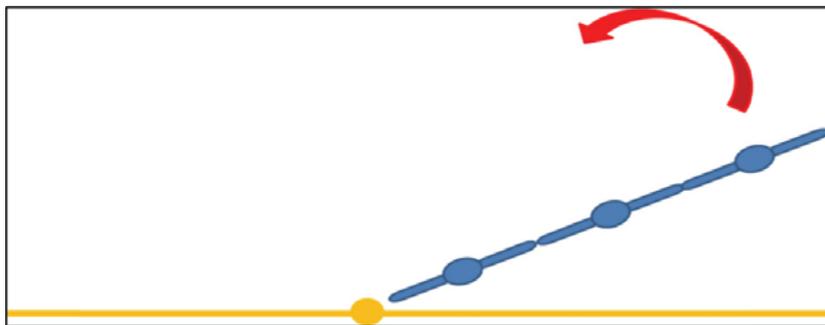


Figura 2: Representação da movimentação feita em torno do eixo central. Fonte: Márcio Rodrigues.

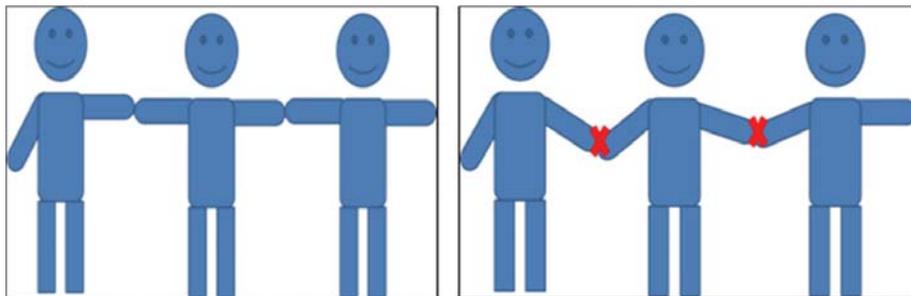


Figura 3: Representação da terceira regra do jogo. Fonte: Márcio Rodrigues.

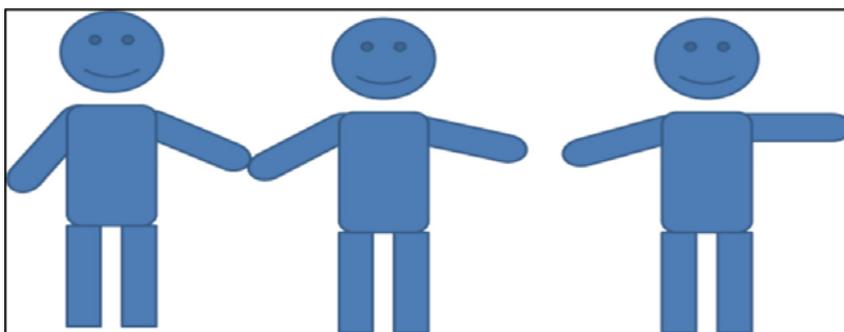


Figura 4: Representação de uma infração (mãos separadas e braços flexionados). Fonte: Márcio Rodrigues.

os estudantes foram levados para a quadra de esportes da escola para que a parte prática da atividade tivesse início.

A escolha da quadra de esportes como local da parte prática da atividade deveu-se ao fato de esse espaço ser mais adequado à natureza dos exercícios. Segundo Dohme [8], é preciso planejar o espaço onde a atividade lúdica irá ocorrer de modo que o desenvolvimento se dê da melhor maneira possível. Em ambientes fechados são aconselhados jogos que desenvolvam o raciocínio, como xadrez ou jogos da memória. Já jogos de correria e movimentação são mais aconselhados em ambientes mais espaçosos ou abertos [8, p. 25].

Antes de a competição começar mediu-se, com auxílio de uma fita métrica, o comprimento dos braços de todos os integrantes das quatro equipes. Os valores foram anotados pelos respectivos árbitros para serem utilizados após o término da atividade.

As equipes eram formadas por cinco integrantes, sendo que apenas três deveriam executar os movimentos em torno do eixo e os outros dois seriam os árbitros que fariam a análise das voltas da equipe adversária. O papel dos árbitros era cronometrar o tempo de um minuto e fazer a contagem do número de voltas da equipe adversária, analisando se estavam de acordo com as quatro regras do jogo.

Para o início da competição, uma das equipes apresentou-se voluntariamente. Os três integrantes dessa equipe que tinham aproximadamente a mesma altura dirigiram-se para o centro da quadra de esportes (Fig. 5) e posicionaram-se de braços dados.

Os dois árbitros das equipes adversárias posicionavam-se próximo do centro (Fig. 6) para analisar a regularidade das voltas e cronometrar o tempo gasto pela equipe avaliada. Esse procedimento repetiu-se até que todas as equipes tivessem realizado as voltas em torno do centro da quadra.

O primeiro membro do grupo deveria se posicionar aproximadamente 10 cm distante do centro da quadra (Fig. 7) e manter-se o maior tempo possível nesta distância para ter maior desempenho na hora da realização das voltas. Não era permitido pisar no eixo central do meio da quadra.

Após a realização da prática, as equipes se reuniram com seus integrantes e calcularam as diferentes velocidades dos três colegas que realizaram as voltas. Os cálculos foram realizados com o auxílio do professor.

### Resultados e discussões



Figura 5: Estudantes se preparando para a atividade. Fonte: Márcio Rodrigues.



Figura 6: Estudantes realizando voltas em torno do centro da quadra de esportes. Fonte: Márcio Rodrigues.



Figura 7: Equipe campeã em suas voltas. Fonte: Márcio Rodrigues.

A atividade teve duração de uma hora e meia. A equipe campeã conseguiu realizar sete voltas em um minuto. O interessante é que a terceira equipe conseguiu girar 11 vezes em torno do centro da quadra. Entretanto, os árbitros julgaram que seis voltas não estavam de acordo com as regras, pois os integrantes soltaram as mãos em algumas voltas. Dessa maneira, a equipe foi penalizada em seis voltas e acabou com um total de cinco voltas

corretas.

Com o término da atividade, os estudantes que realizaram as voltas e que estavam na ponta mais afastada do centro da quadra questionaram o professor sobre qual o motivo de eles estarem muito mais cansados do que os membros da equipe que estavam mais próximos do centro. A resposta para essa dúvida era o foco principal da atividade.

Antes de o professor responder, pediu

ao conjunto dos estudantes que tentassem elaborar possíveis respostas à questão, com suas próprias explicações, o que criou rodas de discussão referentes ao conteúdo de movimento circular uniforme (MCU). Uma das discussões se referia ao motivo da medição do comprimento dos braços dos estudantes. O mais interessante foi o comentário de um aluno que antes dessa atividade prática apresentava baixo rendimento durante as aulas tradicionais com pincel e quadro branco, inclusive com baixo rendimento no que diz respeito à nota. Segundo esse aluno, a medição feita pelo professor serviria para que os integrantes da equipe que eram responsáveis pelo cálculo da velocidade de seus companheiros ao redor do centro da quadra pudessem estimar o raio da trajetória circular percorrida. O comentário desse aluno esclarecia a dúvida de toda a turma, sendo que esse era justamente o assunto em foco na atividade, razão pela qual o professor havia medido o comprimento dos braços dos integrantes das equipes.

Outra estudante respondeu para os colegas que o maior cansaço dos participantes que estavam mais afastados do centro se devia ao fato de eles se moverem em torno do eixo com velocidade maior que os outros colegas, pois possuíam um raio maior em relação ao centro da trajetória.

Depois das discussões, cada equipe realizou os cálculos da velocidade dos integrantes que estavam realizando as voltas em torno do centro da quadra, conforme apresentado a seguir.

### **Equipe 1**

A primeira equipe realizou cinco voltas completas em 60 s, logo, considerando que o movimento tenha sido uniforme, cada volta teve duração de 12 s. Esse valor foi utilizado para o cálculo da velocidade dos integrantes da equipe (Tabela 1), considerando o valor de  $\pi$  ( $\pi = 3,14$ ).

### **Equipe 2**

A segunda equipe realizou sete voltas em 60 s, logo, cada volta teve período de aproximadamente 8,5 s (Tabela 2).

### **Equipe 3**

A terceira equipe conseguiu realizar 11 voltas em 60 s. Embora tenham sido punidos pelos árbitros por não cumprirem as regras em todas as voltas, os cálculos de velocidade consideraram as 11 voltas (Tabela 3), logo, cada volta teve duração de aproximadamente 5,45 s.

### **Equipe 4**

A quarta equipe realizou oito voltas

Tabela 1: Velocidade que cada membro da equipe 1 atingiu, em média, por volta.

Integrante	Raio	Velocidade no MC
Mais próximo do centro	0,1 m	0,052 m/s
Do meio	1,42 m	0,74 m/s
Mais afastado do centro	2,86 m	1,49 m/s

Fonte: Márcio Rodrigues.

Tabela 2: Resultados encontrados pelos estudantes para a velocidade que cada membro da equipe 2 atingiu (em média) por volta.

Integrante	Raio	Velocidade no MC
Mais próximo do centro	0,1 m	0,073 m/s
Do meio	1,4 m	1,01 m/s
Mais afastado do centro	2,78 m	2,05 m/s

Fonte: Márcio Rodrigues.

Tabela 3: A tabela mostra os resultados encontrados pelos estudantes para a velocidade que cada membro da equipe 3 atingiu (em média) por volta.

Integrante	Raio	Velocidade no MC
Mais próximo do centro	0,1 m	0,11 m/s
Do meio	1,41 m	1,62 m/s
Mais afastado do centro	2,91 m	3,35 m/s

Fonte: Márcio Rodrigues.

Tabela 4: A tabela representa a velocidade que cada membro da equipe 4 atingiu (em média) por volta.

Integrante	Raio	Velocidade no MC
Mais próximo do centro	0,1 m	0,083 m/s
Do meio	1,39 m	1,16 m/s
Mais afastado do centro	2,83 m	2,36 m/s

Fonte: Márcio Rodrigues.

em 60 s; desta maneira, cada volta teve período aproximado de 7,5 s. Essa equipe também foi penalizada em duas voltas pelos árbitros, mas as oito foram consideradas para os cálculos da velocidade (Tabela 4).

As medidas dos raios representados nas tabelas são resultado da soma do comprimento dos braços dos integrantes das equipes (Fig. 8). Todos os participantes que estavam mais próximos do eixo de rotação (globo central da quadra de esportes) apresentaram raios de 0,1 m, pois estavam localizados a 10 cm do mesmo, e foi feita conversão de unidade de centímetro para metros. O integrante do meio estava girando em um raio de 1,37 m devido à somatória do seu braço com o do integrante próximo ao eixo de rotação. O estudante da ponta girava em um raio maior, pois além da medida de seu próprio braço ainda havia os braços de seus companheiros, totalizando um raio de 2,78 m.

Em todas as situações os integrantes

que estavam mais afastados do centro da quadra giravam com velocidade maior do que seus companheiros, pois possuíam um raio maior em relação ao eixo de rotação. Isso significa que, por possuírem

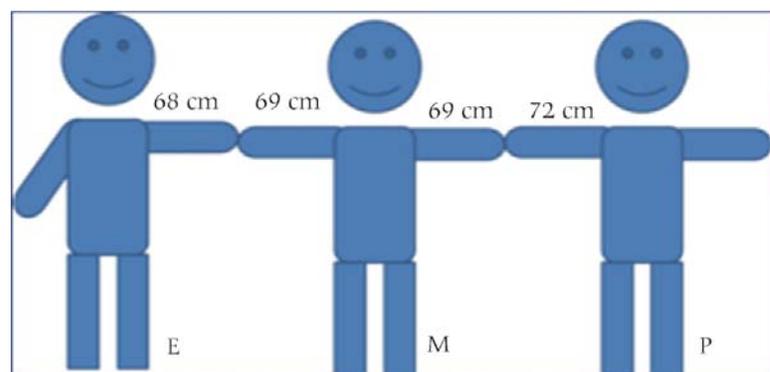


Figura 8: Ilustração do processo de medida do raio de rotação de cada participante (Foi usada uma fita métrica para efetuação das medidas. As letras da imagem representam eixo (E), meio (M) e ponta (P), indicando a posição de cada estudante). Fonte: Márcio Rodrigues.

velocidades maiores, eles deveriam percorrer uma distância maior para conseguir acompanhar o ritmo dos outros dois colegas.

A partir desses dados, os estudantes que estavam girando mais afastados do centro perceberam como tiveram que se mover muito mais rápido que seus companheiros e por um espaço maior, e por isso estavam mais cansados.

Após a atividade e a realização dos cálculos, os alunos foram questionados mais uma vez sobre a questão dos cinco patinadores, que havia motivado a atividade. Todos os participantes conseguiram assimilar que o patinador mais afastado do eixo de rotação se movia com velocidade linear superior à de seus companheiros.

### Considerações finais

Os resultados da atividade mostram que seus principais objetivos foram alcançados. O primeiro deles estava relacionado à participação dos alunos: a partir do momento em que estes se propuseram a participar, visto que não se tratava de uma obrigação, podemos avaliar que atingimos o propósito da ludicidade, que é envolver os alunos na brincadeira; some-se a isso o fato de que a atividade ocorreu fora de seu horário de aula, no contraturno da disciplina. Quando o estudante escolhe participar e professor dá suporte necessário para o desenvolvimento da atividade, o processo de ensino-aprendizagem acontece de maneira efetiva e produtora, tornando-se bastante enriquecedor. Vemos que também foi alcançado um segundo objetivo, relacionado mais especificamente à aprendizagem de conceitos físicos, ao observarmos o levantamento de hipóteses e as respectivas considerações feitas pelos estudantes em relação ao conteúdo de MCU, mostrando uma compreensão do tema e evidenciando apropriação adequa-

da de tais conceitos. Finalmente, quanto à questão do prazer de jogar envolvido na atividade, o trabalho em equipe, o desenvolvimento de atitudes de cooperação, o índice de envolvimento e a satisfação dos estudantes indicam que houve descontração e diversão.

A ludicidade, em especial o jogo, como

ferramenta metodológica para o ensino de física fornece uma opção de aumentar a participação e o interesse dos estudantes, que estão a cada dia mais conectados aos equipamentos tecnológicos e apresentam certa aversão a métodos tradicionais de ensino. É papel do professor procurar alternativas para maximizar a aprendi-

zagem e formar o estudante para a vida, orientando o melhor caminho para a formação de pessoas conscientes, sensíveis e participativas, que conheçam seus direitos e deveres e que contribuam para a construção de uma sociedade melhor.

## Referências

- [1] M.C.T.D. Rau, *A Ludicidade na Educação: Uma Atitude Pedagógica*. – (Ibpex, Curitiba, 2011), Série Dimensões da Educação, 2ª ed., ver atual. e ampl.
- [2] M.A.R. dos Santos, *Ludicidade, Estudos Transdisciplinares* (Editora Açai, Belém, 2013).
- [3] T.M. Kishimoto (org), *Jogo, Brinquedo, Brincadeira e a Educação* (Cortez, São Paulo, 2008), 11ª ed.
- [4] A. Chassot, *Alfabetização Científica – Questões e Desafios para a Educação* (Editora da Unijuí, Ijuí, 2016), 7ª ed.
- [5] A. Cachapuz, D. Gil-Pérez, A.M.P. Carvalho, J. Praia e A. Vilches (orgs), *A Necessária Renovação do Ensino de Ciências* (Cortez, São Paulo, 2011), 3ª ed.
- [6] C.W. da Rosa, e A.B. da Rosa, *Revista Ibero-americana de Educação* **58**, 1 (2012).
- [7] B. Sant’anna, G. Martine, H.C. Reis e W. Spinelli, *Conexões com a Física* (Moderna, São Paulo, 2010), v. 1, 1ª ed.
- [8] V. Dohme, *Atividades Lúdicas na Educação: O Caminho de Tijolos Amarelos do Aprendizado* (Vozes, Petrópolis, 2011), 6ª ed.

# CONSTRUÇÃO DE MAQUETE FOSFORESCENTE DA CONSTELAÇÃO DE ÓRION A PARTIR DO STELLARIUM.

.....

**Giselen Lefer Padilha Renner**

Licenciatura em Ciências da Natureza  
com Habilitação em Física  
Instituto Federal de Santa Catarina,  
Jaraguá do Sul, SC, Brasil  
E-mail: glefer.p@gmail.com

.....

## As constelações

**A**s constelações foram definidas como agrupamentos arbitrários de estrelas que ocupam certa região no céu ao longo da história da Astronomia. Esse conceito foi construído no imaginário dos povos antigos, representando no céu noturno deuses, mitos, animais e até objetos que eram usados no cotidiano [1]. As constelações surgiram na antiguidade para auxiliar os povos a identificar os períodos das estações do ano, uma vez que era necessário saber as épocas propícias ao plantio. Do ponto de vista moderno, as constelações não mais são classificadas como um simples agrupamento de estrelas, mas sim como áreas específicas que foram determinadas a partir das figuras mitológicas. Em 1922, a União Astronômica Internacional (IAU) dividiu a esfera celeste em 88 partes, e desde então qualquer estrela que esteja dentro dos limites dessas partes pertence àquela constelação [1, 2].

As estrelas são nomeadas de acordo com a ordem de seu brilho no céu, sendo a mais brilhante denominada alfa, a segunda beta e assim por diante. A estrela alfa da constelação de Órion é a Betelgeuse.

Algumas constelações encontram-se em uma faixa limitada por dois paralelos de latitude celeste, mais precisamente a 8 graus ao norte e 8 graus ao sul da eclíptica; nessa faixa sempre se pode observar o sol, a lua e os planetas. A eclíptica é o círculo máximo da esfera celeste; ela representa a trajetória anual do Sol em seu movimento aparente em torno da Terra. As 13 constelações zodiacais que são atravessadas pela eclíptica são: Peixes, Áries, Touro, Gêmeos, Câncer, Leão, Virgem, Libra, Escorpião, Ofiúco, Sagitário, Capri-

córnio e Aquário [3].

O *Stellarium* é uma carta do céu ou um planetário de código aberto para o computador. Ele mostra um céu realista em três dimensões igual ao que se vê a olho nu, com binóculos ou telescópio, tendo ampla relevância no ensino de astronomia atualmente.

## O gigante caçador

Algumas constelações são facilmente observadas no céu noturno devido ao fato de possuírem estrelas de maior brilho aparente, como por exemplo a constelação de Órion, cuja sigla é "Ori". Ela representa

a figura mitológica de um caçador na presença de seus dois cães de caça (representados pelas constelações Cão Maior e Cão Menor).

Na mitologia grega, em uma das várias

versões, Órion foi um herói, grande caçador e amado por Ártemis, (deusa da caça) até que Apolo, irmão de Ártemis, não aprovando o romance entre os dois, enviou um escorpião para matá-lo, porém este acabou picando seu calcanhar. Os deuses resolveram colocá-los no céu de forma que não pudessem se confrontar, em lados opostos. Enquanto Órion se põe no Oeste, Escorpião está nascendo no Leste. Em outra versão, Órion estaria fugindo do Escorpião e Apolo desafia a pontaria de Ártemis, que acaba por acertar por engano Órion e matá-lo. Ela pede então para que Zeus os coloque entre as estrelas, na configuração representada na Fig. 1 [4].

Para encontrar a constelação de Órion, o observador deve localizar três estrelas próximas, de brilho parecido e enfileiradas, conhecidas como "Três Marias" (Alnilan, Alnitak e Mintaka), que compõem o cinturão de Órion. A constelação tem o formato de um quadrilátero, no qual o vértice nordeste é formado pela es-

**As estrelas são nomeadas de acordo com a ordem de seu brilho no céu, sendo a mais brilhante denominada alfa, a segunda beta e assim por diante**

Atualmente, percebe-se que o ensino de Astronomia necessita de estratégias didáticas diferenciadas, que tenham o potencial de desenvolver e tornar efetivo o processo de ensino/aprendizagem. Este artigo tem o propósito de propor a elaboração de uma maquete tridimensional fosforescente da constelação de Órion, com a possibilidade de que o aluno, ao mesmo tempo em que constrói o modelo representacional, incorpore ou reelabore suas concepções sobre o universo, com a abordagem de diversos temas ao longo de todo o processo.

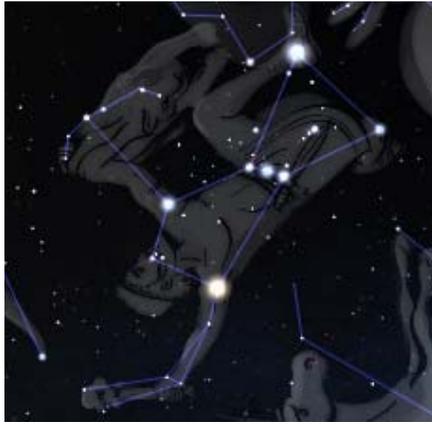


Figura 1: Figura mitológica da constelação de Órion, o Caçador, vista do hemisfério sul. Fonte: *Stellarium*.

trela avermelhada Betelgeuse, a qual marca o ombro direito do caçador. O vértice sudoeste do quadrilátero é formado pela estrela azulada Rigel, que representa o pé esquerdo de Órion. Vale lembrar que no hemisfério sul, Órion aparece de cabeça para baixo [3].

### Magnitude aparente e absoluta

Um observador na superfície da Terra pode, sem instrumentos ópticos, diferenciar o brilho e a cor dominante das estrelas. Essas observações estão associadas às propriedades físicas das estrelas, ou seja, observando o fluxo da radiação em diversos comprimentos de onda, pode-se comparar a estrela com um corpo negro.

Dessa forma, obtendo dados acerca de propriedades como temperatura e cor, considerando a atividade energética do núcleo e a composição química da atmosfera de uma estrela, obtêm-se um espectro característico. O brilho aparente de uma estrela, quando observada da Terra, depende da potência da radiação emitida e da distância da estrela até a Terra. Dessa forma são estabelecidos os conceitos de magnitude absoluta e aparente [5].

A magnitude aparente de determinada estrela é uma medida do seu brilho aparente [6]. A primeira escala para essa medição foi realizada por Hiparco no século II a. C. Em sua escala, Hiparco definiu que as estrelas mais brilhantes tinham magnitude  $m = 1$  e as menos brilhantes caracterizavam-se por  $m = 6$ . Dessa relação resulta que uma estrela de magnitude 1 é cerca de 100 vezes mais brilhante que uma estrela de magnitude igual a 6 [6].

A medida de magnitude aparente de uma estrela está relacionada com a medida do fluxo recebido para um dado comprimento de onda do espectro, podendo ser realizada com um telescópio e um detec-

tor apropriado [5].

Introduzimos o conceito de magnitude absoluta para compararmos as estrelas quanto à luminosidade [11]. A magnitude absoluta de uma estrela é definida como sendo a magnitude aparente que teria essa estrela a uma distância de 10 pc (parsecs) [5, 11].

### Cor e temperatura das estrelas

A cor de uma estrela está associada às suas características físicas, ou mais especificamente a sua temperatura superficial, na fotosfera. Essa cor podemos diferenciar a olho nu ou com o auxílio de telescópios ou outros instrumentos ópticos [6,7].

Uma estrela com menor temperatura tem seu pico de emissão próximo do vermelho e uma estrela com temperaturas mais altas possui pico de emissão mais próximo do azul. O Sol é considerado uma estrela de temperatura intermediária, seu pico de emissão está na faixa do amarelo [6].

Em se tratando da temperatura, considera-se um baixo valor em valores aproxima-

dos de 2.000 K a 3.000 K, considerando as camadas mais externas, responsáveis pela emissão das cores que chegam à Terra. Valores considerados altos para o padrão de temperatura são aqueles próximos de 40.000 K.

Os astrônomos estudam a luz que chega até a Terra, oriunda das estrelas, para compreender sua formação e evolução, além das estruturas em que elas se encontram, como os aglomerados e as galáxias.

**A magnitude aparente de determinada estrela é uma medida do seu brilho aparente. A primeira escala para essa medição foi realizada por Hiparco no século II a. C.**

### Coordenadas celestes

Um sistema de coordenadas celestes é responsável por definir a posição de um astro na esfera celeste, utilizando para isso dois valores angulares.

Dos sistemas mais utilizados em astronomia de posição vale mencionar o Sistema Horizontal Local de Coordenadas e o Sistema Equatorial de Coordenadas [7].

O Sistema Horizontal tem como plano fundamental o plano em que está contido o horizonte do observador e duas coordenadas: o azimute e a altura. O primeiro é o ângulo medido sobre o horizonte com origem no norte e que cresce na direção leste, com sua extremidade no astro. Tem variação de 0 graus a 90 graus para os astros que se localizam acima do horizonte. Nesse sistema, o azimute e a altura dependem da localização do observador e variam a todo instante devido à rotação da Terra [8].

A Fig. 2 representa o sistema de coordenadas horizontais, ilustrando a metade da esfera celeste visível ao observador.

A posição do observador é represen-

tada pelo ponto O e a posição do astro na esfera celeste é compreendida pelo ponto E.

No Sistema Equatorial, a posição do observador não altera as coordenadas do astro. O plano fundamental nesse sistema é o plano do equador celeste, e o ponto de referência é a posição do Sol. No momento em que o Sol cruza o equador celeste vindo do hemisfério sul, obtêm-se as duas coordenadas: a ascensão reta ( $\alpha$ ) e a declinação ( $\delta$ ).

A ascensão reta é um ângulo medido sobre o equador celeste e tem origem no

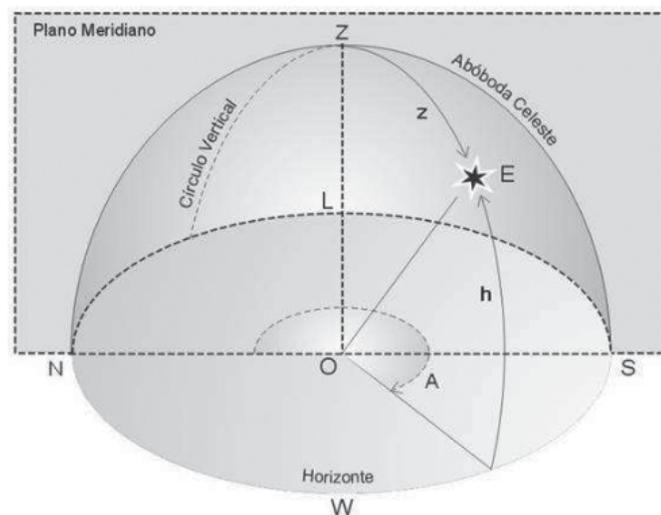


Figura 2: Ilustração do Sistema Horizontal Local de coordenadas [7].

ponto Vernal, e a declinação é o ângulo medido sobre o meridiano do astro. Geralmente a ascensão reta é medida em horas (0 h a 24 h) e a declinação, em graus (0 graus a  $\pm 90$  graus) do equador para o polo celeste norte (positivo) ou sul (negativo) [7, 8].

A Fig. 3 ilustra o sistema de coordenadas equatoriais. O ponto T representa o observador e o ponto E a posição de uma estrela na esfera celeste.

### Determinação de distâncias

Dentre as medidas astronômicas, a mais simples é a triangulação, que consiste em um método para cálculo de distância dos astros mais próximos da Terra. Esse método consiste em calcular a distância por meio da semelhança de triângulos, ao aplicar o teorema de Tales.

Porém, é necessário que exista um objeto distante que sirva como referência, para medir a variação da direção do objeto mais próximo quando o observador muda de posição [10].

Essa mudança na direção do objeto devido à mudança de posição do observador é chamada de *paralaxe*. A paralaxe pode ser geocêntrica e heliocêntrica. A primeira, também conhecida como paralaxe diurna, é um método que pode ser utilizado para medir a distância até os planetas mais próximos, sendo definida como o deslocamento aparente sofrido pelo objeto quando observado de dois pontos por uma distância igual ao raio da Terra [9].

A paralaxe heliocêntrica, também conhecida como paralaxe anual, é o único método direto que pode ser utilizado para medir distâncias estelares (no alcance de estrelas da vizinhança solar). Esse método é definido como o deslocamento aparente sofrido pelo objeto quando observado de dois pontos separados por uma distância igual ao raio da Terra, em um período de

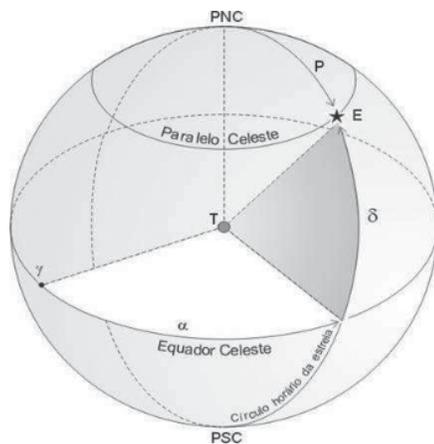


Figura 3: Ilustração do Sistema Equatorial de coordenadas [7].

seis meses de observação. (1 UA) [11]. Para se utilizar dessa medida, é necessário medir a direção de uma estrela em relação às estrelas de fundo quando a Terra está em um lado em relação ao Sol, e seis meses depois, quando está no lado oposto; a partir desses dados, é possível calcular a distância.

Pode-se citar duas medidas de distâncias comumente utilizadas na astronomia: o ano-luz e o parsec. Um ano-luz (al) é a distância que a luz percorre em um ano, propagando-se pelo vácuo.

O parsec (pc) é definido como a distância de um objeto que apresenta uma paralaxe heliocêntrica de 1". A distância medida em parsecs é igual ao inverso de sua paralaxe heliocêntrica medida em segundos de arco [9].

### Construção da maquete

Para a construção da maquete da constelação de Órion foram utilizados os seguintes materiais:

- Folha de isopor;
- 3 esferas de plástico (ou isopor) de aproximadamente 1,3 cm de diâmetro (as esferas representarão as estrelas);
- 4 esferas de plástico (ou isopor) de aproximadamente 1 cm de diâmetro;
- 12 esferas de plástico (ou isopor) de aproximadamente 0,5 cm de diâmetro;
- 2 m de arame de 2 mm de diâmetro;
- Cola instantânea;
- Tinta fosforescente verde (ou azul);
- Alicates de artesanato;
- Régua ou fita métrica;
- Imagem impressa da constelação de Órion do software Stellarium.

### Coleta de dados

Para iniciar o procedimento de montagem da maquete é necessário que se estabeleçam as dimensões nas quais se pretende confeccioná-la, podendo-se projetá-la em um gráfico em três dimensões, conforme a Fig. 4. Aqui:

- O eixo x corresponde à distância a que as estrelas se encontram da Terra (valores serão obtidos no Stellarium) em escala reduzida; o eixo y corresponde à distância entre as estrelas quando observadas no plano frontal;
- O eixo z corresponde à altura e os valores das coordenadas foram obtidos pela ampliação da imagem do Stellarium.
- O ponto P corresponde a uma estrela que terá posição definida por meio desses valores.

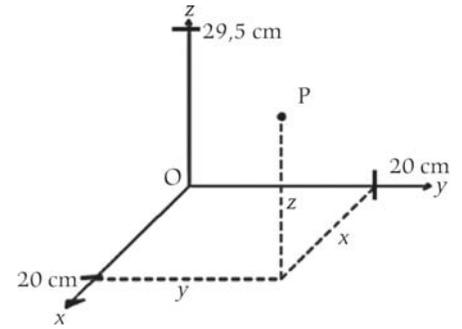


Figura 4: Projeção da maquete em gráfico de três dimensões.

Nesse caso, a maquete terá uma profundidade de 20 cm, uma distância no plano frontal de 20 cm e uma altura máxima de 29,5 cm.

Para os dados correspondentes ao eixo x, basta buscar as medidas de distâncias no aplicativo Stellarium e reduzi-las em escala menor, considerando a distância máxima pretendida. Para isso pode-se usar regra de três simples, relacionando a distância da estrela mais afastada com a distância estipulada no início para a profundidade pretendida, resultando na equação

$$d_{final} = \frac{d_{real}(\text{anos luz}) \times d_{max}(\text{cm})}{2000(\text{anos luz})}$$

em que  $d_{final}$  = distância final convertida em centímetros (componente do eixo x);  $d_{real}$  = distância da estrela a partir da Terra (por meio do Stellarium);  $d_{max}$  = distância máxima pretendida para a maquete.

A estrela mais afastada é Alnilan, a 1976,71 anos-luz, ou, por arredondamento, a 2.000 anos-luz. Esse valor aproximado é válido para estipularmos as dimensões da base. A estrela Alnilan ficará em uma posição anterior ao limite da base. O cálculo fica, por exemplo, para o caso de Rigel, distante 862,85 anos-luz

$$d_{final} = \frac{862,85 \times 20}{2000} = 8,6 \text{ cm}$$

Logo após executar o cálculo para todas as estrelas, será necessário definir a altura na qual cada estrela vai se posicionar.

Para isso, será utilizada uma ampliação de imagem da constelação no Stellarium. Nesse caso, como foi definida uma altura máxima para a maquete de 29,5 cm, foi necessária uma ampliação de 5,6 vezes da imagem original do aplicativo.

Para determinar a altura (eixo z), foi utilizada uma régua na lateral da imagem ampliada (Fig. 5).

Por exemplo, Rigel e Saiph encontram-se na base, logo pode-se considerar

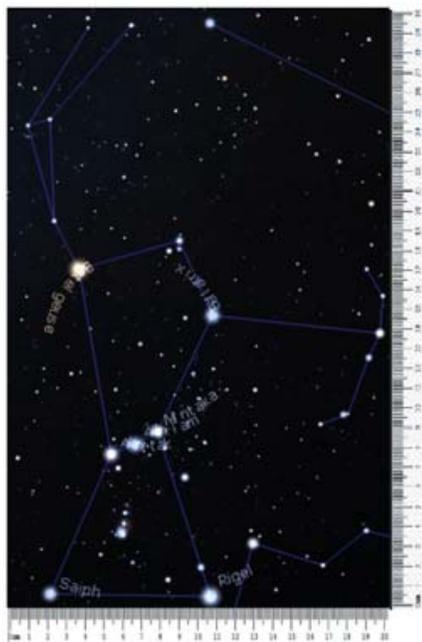


Figura 5: Imagem da constelação de Órion com régua para determinação das posições em relação ao plano frontal. Fonte: *Stellarium*.

que ambas se encontram na altura zero, e Betelgeuse estaria a 18 cm da base; basta repetir esse procedimento para as estrelas restantes e anotar.

Ainda falta um dado a ser obtido, relacionado às posições das estrelas em relação umas às outras. Para isso, pode ser determinada como referencial a base da imagem, inserindo uma nova régua na parte inferior da imagem (Fig. 5); esse dado vai compor as coordenadas do eixo  $y$ .

Saiph, por exemplo, estará posicionada em 2 cm, Betelgeuse em 3 cm e assim por diante.

Os dados obtidos podem ser organizados em uma tabela, conforme representado na Tabela 1.

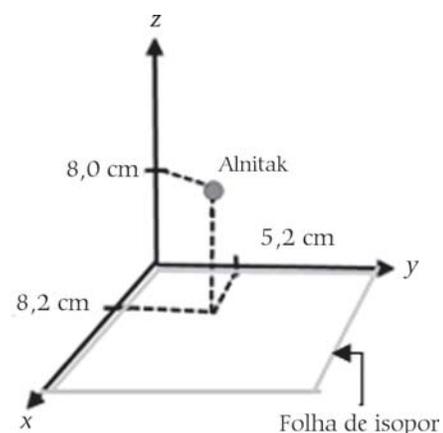


Figura 6: Procedimento para iniciar a montagem da constelação, com o posicionamento da estrela Alnitak.

Tabela 1. Dados de magnitude aparente e conversão das distâncias a partir dos dados do *Stellarium* de acordo com as medidas propostas inicialmente.

Estrelas	Magnitude aparente	Distância média da Terra (Anos-luz)	Eixo $x$ (cm)	Altura (eixo $z$ ) (cm)	Eixo $y$ (cm)
Rigel	0,15	862,8	8,6	0,0	11,4
Saiph	2,05	647,1	6,5	0,0	2,0
Alnitak	1,85	817,4	8,2	8,0	5,2
Alnilan	1,65	1976,7	19,8	8,6	6,5
Mintaka	2,40	916,2	9,2	9,5	7,7
Betelgeuse	0,45	497,9	5,0	17,9	3,0
Meissa	3,50	1055,5	10,5	19,9	8,3
Bellatrix	1,60	252,4	2,5	16,2	10,4
Tabit	3,15	26,3	0,25	16,1	19,8
N4 ori	3,65	1052,1	10,5	14,7	19,3
5 ori	5,30	590,9	5,9	11,4	18,3
N6 ori	4,45	945,4	9,4	10,6	17,0
N2 ori	4,35	224,5	2,2	18,1	19,7
N1 ori	4,60	116,3	1,2	19,5	18,5
$\mu$ ori	4,30	151,8	1,5	20,1	1,7
$\epsilon$ ori	4,45	607,4	6,0	24,5	0,4
V ori	4,40	516,1	5,1	24,9	1,5
X1 ori	4,35	28,3	0,3	29,5	5,3
64 ori	5,10	718,4	7,2	29,1	3,4

A partir dos dados da tabela, a montagem da maquete pode ser iniciada. Definem-se os eixos na folha de isopor, graduando-os em seguida em centímetros. Com o dado de cada estrela, basta posicionar as bolinhas conforme ilustra a Fig. 6, um sistema cartesiano no qual estão representados os dados e a posição final para a estrela Alnitak.

É possível notar que quanto maior a magnitude, menos brilhante é a estrela.

Para fixar a estrela na altura correspondente, pode-se utilizar de palitos de churrasco ou qualquer outro material similar, lembrando que as estrelas estarão

somente encaixadas no palito, não serão coladas nele.

Logo após, faz-se o mesmo procedimento para estrelas próximas, sendo interessante que as estrelas que serão conectadas (as que formam o desenho da constelação), sejam ligadas simultaneamente a esse processo. Para isso, deve-se inserir cola instantânea nas extremidades do arame e nas estrelas correspondentes, respeitando o traçado do desenho da constelação e as dimensões calculadas inicialmente.

Além disso, é relevante considerar a magnitude aparente das estrelas, observadas na imagem e nos dados do *Stella-*

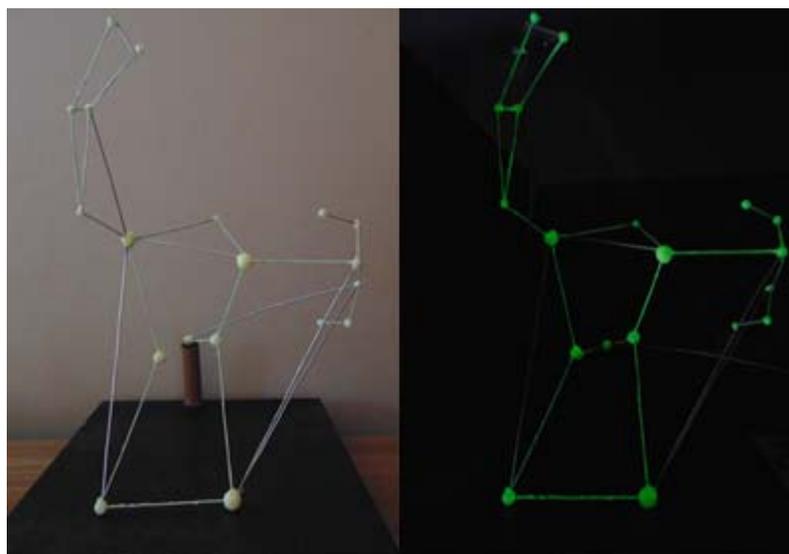


Figura 7: Fotos da maquete finalizada.

rium. Por exemplo, Rigel e Betelgeuse parecem maiores, seguidas de Bellatrix, Alnilan e Alnitak, e assim por diante. Isso se deve ao fato de considerarmos que estão em um mesmo plano aparente.

Além desses conectores, será necessário inserir mais alguns para dar sustentação à maquete, e estes ficam a critério do professor e dos alunos no momento da montagem, bem como a observação de onde serão necessários.

Quando todas as ligações estiverem prontas, a maquete pode ser retirada da base e, logo após, basta que seja aplicada a tinta fosforescente nas estrelas e nas linhas que formam a constelação. A Fig. 7 mostra como fica a maquete depois da aplicação da tinta. É possível observar à direita a maquete no escuro, as estrelas e as linhas que formam a constelação de Órion.

Pode-se optar por fazer uma base, de modo que a bolinha que representa a estrela Alnilan fique na altura correspondente ao eixo z do plano cartesiano.



Figura 8: Imagem do gif. Acesso ao gif em <https://goo.gl/1gPwqd>.

### Considerações finais

A construção dessa maquete diferencia-se das demais na literatura por ser independente de uma base, pois no final ela pode ser retirada, permitindo a visualização em diferentes ângulos e a analogia à visão que se teria fora da Terra. A sua

elaboração, desde a fase inicial até a final, requer habilidades variadas, desde a utilização de cálculos relacionados à matemática básica até as habilidades manuais. Tem um grande potencial para desenvolver os conteúdos de Astronomia desde as questões mais teóricas, como a abordagem com cálculos, até os conhecimentos mais abstratos, desenvolvendo no aluno a noção de espaço-tempo e geometria espacial.

Esse projeto foi executado com materiais de baixo custo, compreendendo o valor total necessário para sua confecção aproximadamente R\$ 25,00.

Além de ser uma proposta viável, a confecção de uma maquete que brilha no escuro pode se tornar uma ferramenta potencialmente significativa na aprendizagem de conceitos no âmbito da astronomia e da astrofísica. Está disponível no final do texto um link para acesso a um gif, no qual é possível visualizar a constelação em diferentes ângulos (Fig. 8).

### Referências

- [1] A.F. Clávia, *Conhecendo as Constelações* (Observatório Astronômico Frei Rosário, UFMG, 2010).
- [2] Observatório Astronômico de Lisboa, *O Nome das Constelações* (Tapada da Ajuda, Lisboa, 2013).
- [3] K.S. Oliveira e M.F. O. Saraiva. *Astronomia e Astrofísica* (Livraria da Física, São Paulo, 2004), 2<sup>nd</sup> ed.
- [4] J.R. Costa, *Astronomia e Astrologia* (UFABC, São Paulo, 2013), aula 7, disponível em <https://astronomiaufabc.files.wordpress.com/2013/06/aula07-astrologiamitologia1.pdf>, acesso em 13/02/2017.
- [5] G.M.S. Silva, F.B. Ribas e M.S.T. Freitas, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 1306 (2008).
- [6] J.L.G. Sobrinho, *Estrelas: Espectros, Luminosidades e Massas* (Universidade da Madeira, Funchal, 2013), disponível em <http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Pub/Modulos/estrelas1.pdf>, acesso em 15/19/2017.
- [7] G.F. Marranghello e D.B. Pavani, *Física na Escola* **12**(1), 20 (2011).
- [8] F.I.R. Gonçalves, L.M.A. Magalhães e S.C.R. Pereira, *Matemática na Astronomia* (Universidade do Minho, Braga, 2007).
- [9] A. Justiniano, P.A. Bressan, E.M. Silva, L.D. Moraes e R. Botelho, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e4505 (2017).
- [10] A.M. Muller, M.F. Saraiva e K.S.Oliveira. *Distâncias Astronômicas*, disponível em [https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29\\_Muller/aula2/aula2a.pdf](https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29_Muller/aula2/aula2a.pdf), acesso em 15/09/2017.
- [11] M. Zeilik and E.V.P. Smith, *Introductory Astronomy and Astrophysics* (Saunders College Publishing, Philadelphia, 1973), 2<sup>nd</sup> ed.

# Proposta para o lançamento de foguetes de garrafa PET utilizando uma base automatizada



Sara Guimaraes Negreiros

Centro Multidisciplinar de Pau Dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau Dos Ferros, RN, Brasil  
E-mail: sguimaraes@gmail.com

Glaydson Francisco Barros de Oliveira

Centro Multidisciplinar de Pau Dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau Dos Ferros, RN, Brasil  
E-mail: glaydson.barros@ufersa.edu.br

## Introdução

O estudo de lançamento de foguetes feitos de materiais de baixo custo é bastante difundido tanto na educação básica quanto no ensino superior. Todos esses experimentos são desenvolvidos com o intuito de solucionar a problemática da ausência de materiais de laboratório, focando na acessibilidade sem perder a eficácia fenomenológica e conceitual envolvida [1]. Souza [2], em seu trabalho, descreve a construção de um foguete utilizando garrafas descartáveis de PET de 2 L, bem como a montagem de um sistema de propulsão à base de água e ar comprimido, objetivando estimar a velocidade máxima do foguete e sua aceleração durante o período de ejeção da água.

Na perspectiva do desenvolvimento de materiais laboratoriais de baixo custo, como o estudo desenvolvido por Cuzinato [3], neste trabalho propomos a construção de uma base de lançamento de um foguete de garrafas PET com acionamento eletromecânico e variação angular em arco, projetada com o intuito de buscar um melhor desempenho.

## Construção da base de lançamento

### Lixamento das peças de colagem

Antes de qualquer colagem é necessário lixar as partes que receberão a cola, sempre optando por uma única direção em movimentos giratórios (Fig. 1), de modo a garantirmos uma melhor aderência da mesma à superfície, bem como evi-

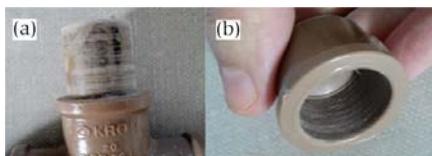


Figura 1: (a) Lixamento de uma extremidade do cano PVC; (b) lixamento do cap.

tarmos qualquer tipo de vazamento.

### Fixação de um parafuso a um cap

Faça um furo em um cap garantindo a abertura de 6 mm necessária para a fixação de um parafuso de 5 cm com porca (Fig. 2 a). Para tal, pode-se utilizar um pedaço de câmara de ar nas partes interna e externa do cap (Fig. 2 b), que servirá para melhorar a fixação do parafuso ao mesmo e impossibilitar vazamentos.

### Fixação de uma válvula a um cap

Faça um furo em um cap, garantindo uma abertura de 8 mm para a inserção de uma válvula de pneu de bicicleta. A abertura pode variar de acordo com a válvula (Fig. 3). Para melhor fixação e vedação, pode-se utilizar um pedaço de câmara de ar nas partes interna e externa do cap (Fig. 3a-b).



Figura 2: (a) Seleção das peças utilizadas: cap, parafuso, brocas, câmara de ar; (b) fixação do parafuso ao cap com câmara de ar dentro e fora do cap.



Figura 3: (a) Seleção das peças utilizadas: cap, parafuso, brocas e câmara de ar; (b) fixação do parafuso ao cap com câmara de ar dentro e fora do cap.

Por interagir com o discente, a prática é o método mais eficaz de expor o conteúdo teórico e captar a atenção do aluno, assim como despertar questionamentos. O lançamento de foguetes de garrafa PET torna-se um dos principais métodos adotados, pois consegue proporcionar o estudo do lançamento curvilíneo de projéteis, das leis de Newton e de momento linear, além de introduzir conceitos como a resistência do ar. Neste trabalho apresentamos um meio alternativo, eficaz, com materiais acessíveis e técnicas básicas para a construção de uma base de lançamento para foguete de garrafas PET. Com o acionamento eletromecânico pode-se garantir a segurança e a estabilidade do lançamento na montagem. Utilizando-se um circuito com arduino e variação angular em arco, garante-se que o estudo do lançamento curvilíneo não seja restrito apenas ao usual ângulo de 45°.

### Fixação do manômetro a um cap

Faça um furo em um cap, garantindo uma abertura de 10 mm para rosquear a válvula do manômetro, conforme a Fig. 4. É importante que a válvula seja inserida com dificuldade, pois a rosca não deve permitir vazamento (Fig. 4a-b). Esse dispositivo é essencial para monitorar a pressão interna do sistema de lançamento do foguete e deve ser fixado o mais próximo possível do foguete.

### Encanamento para compressão de ar

Para a montagem do encanamento para compressão de ar observada na Fig. 5a, devem-se utilizar: seis caps, sendo que dois terão as configurações mencionadas nas Figs 2 e 3 e um será destinado à fixação do manômetro (Fig. 4), dois Ts de 90° com rosca na bolsa central, quatro

Ts de 90° sem rosca, um joelho, dois registros e um adaptador com rosca. Todos os materiais devem ser de PVC de 20 mm. Entre as conexões utilizam-se pedaços de cano de PVC de 20 mm, cujos tamanhos estão identificados na Fig. 5b.

A importância de o sistema de encanamento possuir essa configuração justifica-se pelas seguintes especificações apresentadas na Fig. 5c:

- I – caso queira cancelar o lançamento, basta abrir este registro e, com o registro IV também aberto, o ar será liberado;
- II – o ar será inserido através desta válvula de pneu de bicicleta e, caso não haja nenhum vazamento nas conexões, este será conduzido até o foguete por compressão;
- III – esta parte serve como tampa rosqueada, responsável por permitir a

inserção de água no sistema;

IV – após inserir o ar no encanamento é necessário fechar este registro, pois ele impedirá que o ar saia pela válvula de pneu de bicicleta;

V – este é destinado para o encaixe do manômetro, conforme a Fig. 4;

VI – este parafuso (ver Fig. 2) será um dos responsáveis pela variação angular do lançamento do foguete;

VII – esta distância, que vai da bolsa central do T de 90° ao centro do parafuso, é equivalente a 20 cm e define o raio do arco que aparecerá na variação angular.

VIII – local onde será encaixado o lançador do foguete PET;

IX – esta peça será utilizada como fixador do sistema de encanamento para a compressão do ar à estrutura de variação angular. A mesma será encaixada na bolsa central do T de 90° localizado a 6 cm do primeiro registro.

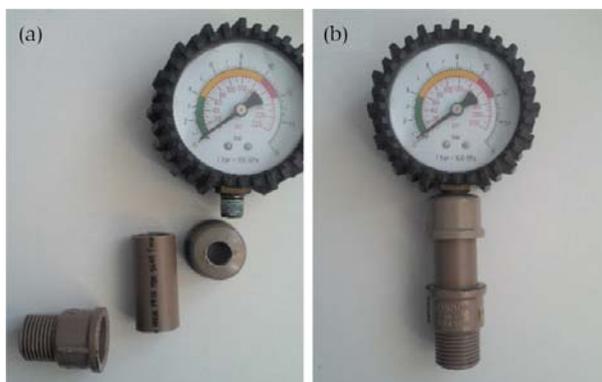


Figura 4: (a) Seleção das peças utilizadas: cap, manômetro, um adaptador com rosca e bolsa, 4 cm de cano PVC de 20 mm; (b) rosqueamento do manômetro no cap furado.

### Lançador

A montagem realizada a seguir (Fig. 6) será responsável por prender o foguete durante a inserção de ar e é comumente denominada de lançador. Para realizar a montagem dessa etapa, devem-se colar duas tiras de câmara de ar de PVC no cano de PVC (Fig. 6a) com aproximadamente 1,5 cm de largura e com espaçamento entre elas de 2 cm. Além das tiras poderá ser inserida sobre as mesmas uma fita adesiva dupla face, que facilitará a distribuição das abraçadeiras de nylon para

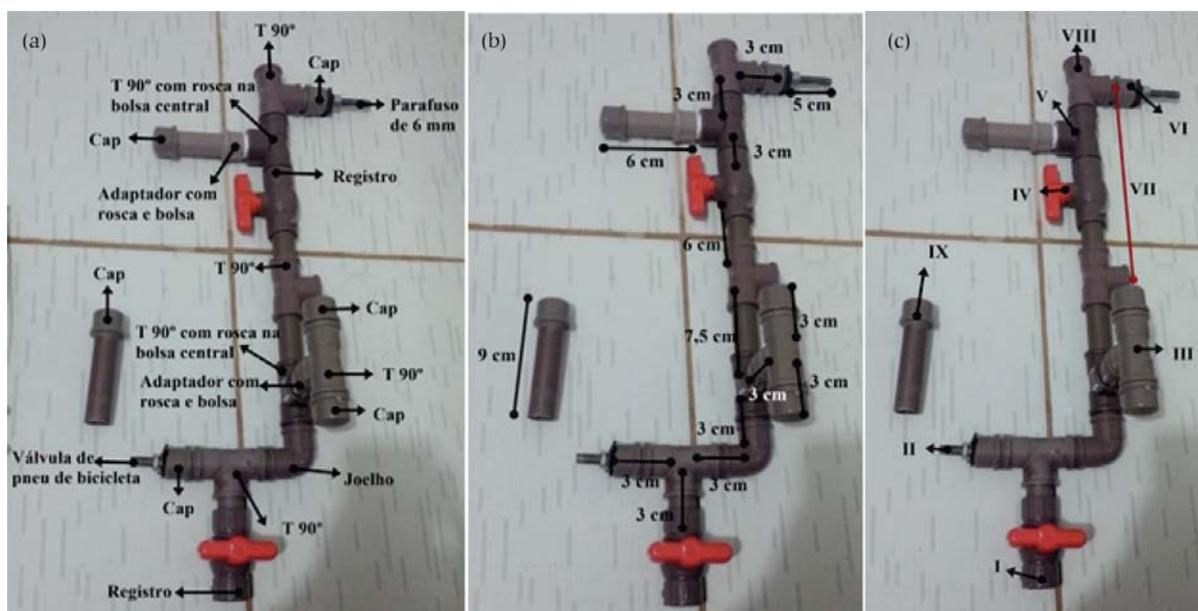


Figura 5: Descrição dos materiais utilizados no encanamento de compressão de ar. (a) 6 caps, 2 Ts de 90° com rosca na bolsa central, 4 Ts de 90° sem rosca, 1 joelho, 2 registros, 2 adaptadores com rosca e bolsa; (b) 13 pedaços de cano de PVC, sendo 10 de 3 cm, 2 de 6 cm, 1 de 7,5 cm e 1 de 9 cm; (c) especificação dos itens enumerados de I a IX.

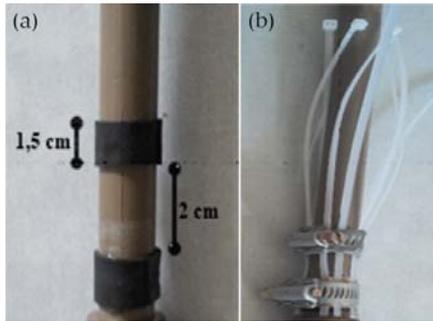


Figura 6: Montagem do lançador: (a) fixação de duas tiras de câmara de ar de pneu no cano PVC; (b) fixação e distribuição das abraçadeiras de nylon com uso de fita dupla face para facilitar a fixação das abraçadeiras de aço inox.

a fixação das abraçadeiras de aço inox sobre estas (Fig. 6b), tomando-se o cuidado para impedir que fiquem frouxas. A extremidade inferior do lançador deverá ter espaço suficiente para colá-la à conexão identificada por VIII na Fig. 5c.

### Estrutura do arco para variação angular

A variação angular de uma base de lançamento é fundamental para o estudo do lançamento de projéteis, especialmente quando o quesito é obter alcance máximo. Nesse modelo de base sugerimos um arco (Fig. 7a e b) com raio igual a 20 cm, correspondente à distância estipulada na especificação VII da Fig. 5c, feito em um pai-

nel de madeira. Com uma serra copo deve ser feito um furo de 4,5 cm de diâmetro no centro de curvatura para fixar o rolamento, enquanto que a abertura do arco deve ter 8 mm de espessura, suficiente para a livre passagem do parafuso de 6 mm indicado na especificação VI da Fig. 5c. A base de apoio apresentada na Fig. 7c deverá possuir dimensões iguais a 40 cm × 25 cm × 7 cm, necessárias para sustentar a estrutura que contém todo o

aparelho que envolve o lançamento.

### Junção da estrutura com o arco e o encanamento

Para fixar o encanamento na estrutura do arco para a variação angular basta inserir o cano com o cap (item IX da Fig. 5c) pelo rolamento e colar o cano com a bolsa central do T de 90°, conforme apresentado nas Figs. 8 a e b. Caso o rolamento não permita que o cano seja inse-

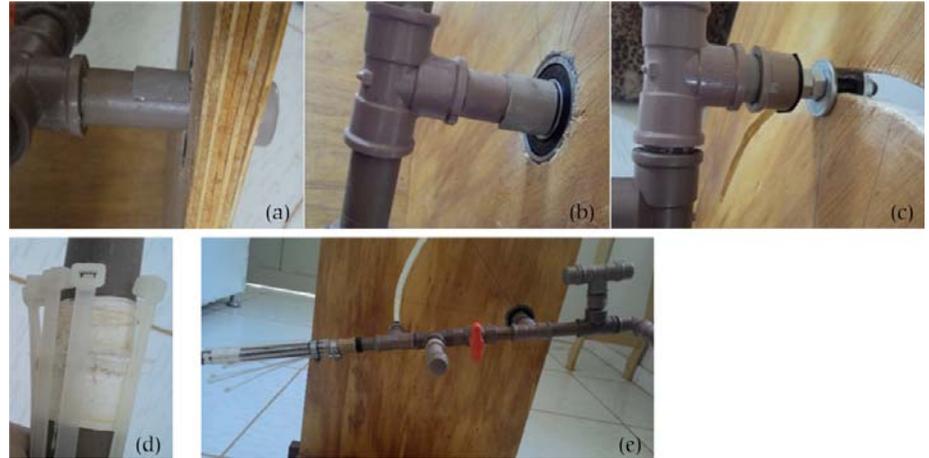


Figura 8: Sequência para a montagem da junção da estrutura do arco com o lançador: (a) inserção do cano com o cap da Fig. 3 pelo rolamento e colagem ao cano com a bolsa central do T de 90°; (b) colagem de um pedaço de cano PVC a fim de impedir que a montagem fique frouxa; (c) inserção de arruelas para auxiliar o parafuso que irá percorrer o arco; (d) inserção de veda rosca entre as cabeças das abraçadeiras de nylon; (e) estrutura da encanação do lançador fixada à estrutura com variação em arco, pronta para receber o foguete de PET.

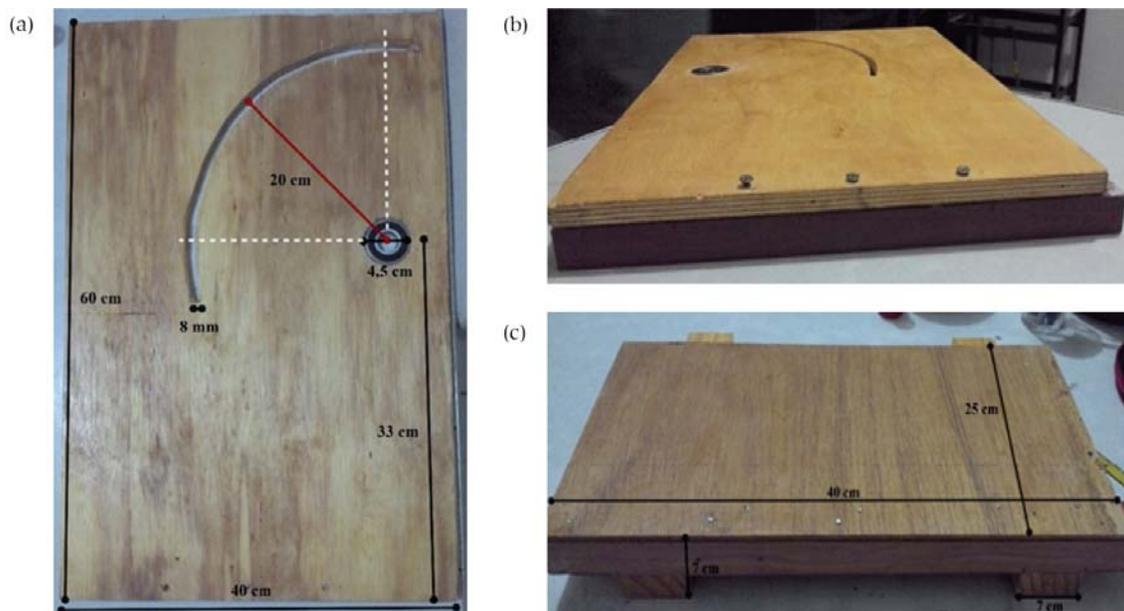


Figura 7: Estrutura em madeira que servirá de suporte para o sistema de encanamento utilizado para o lançamento, com as devidas especificações para a confecção da (a) estrutura do arco de raio igual a 20 cm e para a fixação do rolamento de 4,5 cm localizado no centro de curvatura; (b) O mesmo que em (a) apresentado em uma perspectiva diferente e (c) base de apoio para todo o sistema de lançamento.

rindo com facilidade, é necessário esquentar o cano PVC com cautela para inseri-lo. Note na Fig. 8 b que um pedaço de cano PVC impede que o cano fique frouxo, ou seja, sem movimentos para dentro do rolamento, apenas o giratório. Antes dessa colagem acrescenta arruelas no parafuso que irá percorrer o arco, conforme Fig. 8c, para impedir qualquer movimento indesejável além do plano que contém o arco. Ainda nessa etapa, é necessário inserir veda rosca na região da cabeça das abraçadeiras de nylon com o intuito de permitir que o bocal da garrafa PET seja encaixado de modo firme (Fig. 8 d). Pode-se optar primeiramente por passar esparadrapo e depois acrescentar o veda rosca. Na Fig. 8e observa-se o lançador colado no encaixe do item VIII da Fig. 5c. Note que o encaixe possui uma leve inclinação abaixo do eixo horizontal. Em decorrência disso, para inserir a água no foguete basta colocá-lo no lançador, abrir a tampa do encaixe III na Fig. 5c e deixar que a água siga até o foguete devido a essa inclinação.

### Gatilho para o lançador

Para o sistema de gatilho do lançador é necessário utilizar uma luva de PVC de 4 cm de raio. Nesta é necessário realizar dois furos simétricos, com o mesmo espaçamento entre si, e ligá-los com uma fita seda como apresentado na Fig. 9a. Seguindo-se com 1 m da mesma fita, deve ser realizado um nó centralizado com a fita que foi colocada na luva e alocar esta ao lançador do encanamento, conforme Fig. 9b. Nos nós realizados deve-se passar cola (tipo Super Bonder) para impedir que eles desatem.

### Caixa para alocar o motor e a bateria de 12 V

Na Fig. 10a é apresentada uma caixa utilizada para colocar um motor e uma bateria de 12 V. Observa-se na Fig. 10b um furo na estrutura de variação angu-

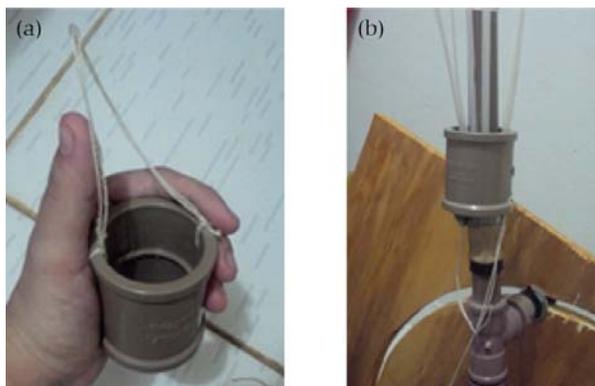


Figura 9: Sistema de gatilho para o lançador: (a) ligação dos furos pela fita seda; (b) fixação de um metro de fita seda no aparato de (a) e alocação deste no lançador.

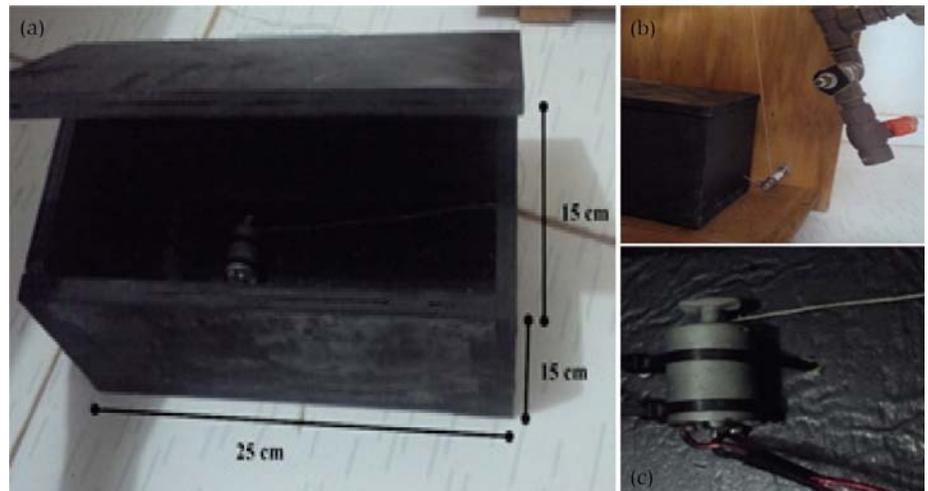


Figura 10: Sistema utilizado para a automação da estrutura do lançador com: (a) caixa cujas dimensões sejam suficientes para colocar o motor e uma bateria de 12 V; (b) parafuso utilizado para direcionar o fio para dentro da caixa, preso na parte inferior da estrutura com o arco; (c) aparato para fixação do motor utilizando duas abraçadeiras de nylon e com o fio preso em seu bico.

lar para a inserção de um parafuso. Outro furo é realizado na caixa da Fig. 10a com a mesma altura, de modo que um fio de 1 m da estrutura da Fig. 9b possa ser direcionado, através do parafuso, para dentro da caixa. Ainda nessa etapa, pode-se observar nas Figs. 10a e 10c que o fio pode ser envolvido por veda rosca, tanto para retardar a corrosão dele quanto para facilitar seu deslizamento. O motor dentro da caixa é preso com abraçadeiras de nylon e possui o fio preso em seu bico com cola tipo Araldite (Fig. 10 c).

### Acionamento do foguete: circuito e código

Neste estudo utilizamos um circuito (Fig. 11a) com o uso de arduino, uma protoboard e componentes eletrônicos. Dentre as peças utilizadas para esse circuito temos o transistor *NP tip 31* com três terminais: a Base, o Coletor e o Emissor, da esquerda para a direita na ilustração da Fig. 11a.

No circuito tem-se até 5 V entrando na Base por meio do pino digital 2. O Coletor está conectado a um terminal no motor. O Emissor está conectado ao terra. No entanto, sempre que for aplicada uma voltagem na Base por meio do pino digital 2, o transistor liga, permitindo que a corrente flua por ele, entre o Emissor e o Coletor e, assim, alimentando o motor, que está conectado em série com esse circuito.

Entre o terminal que faz ligação com o arduino alocamos um resistor de 2,2 k $\Omega$  e um diodo. O diodo permite que a corrente siga apenas um caminho, isto é, segue pela extremidade que não contém a faixa branca e não realiza o caminho no sentido oposto. Utilizamos dois diodos, como apresentado na Fig. 11a.

Além disso, temos um led vermelho e um led verde. Sua funcionalidade é transmitir uma mensagem visual ao usuário quanto ao acionamento. Após acionado o botão 1, o led vermelho vai acender durante 5 s, seguindo-se o led verde durante 2 s após os 5 s. Se mantivermos o botão 2 pressionado durante esse intervalo, o acionamento será cancelado. Caso contrário, o motor irá funcionar e apenas o led verde ficará acesso enquanto isso. Ambos os leds possuem um resistor de 300  $\Omega$  nos seus terminais positivos (pernas maiores), enquanto que os botões estilo *pushbutton* estão com resistores de 10 k $\Omega$ .

Ainda na Fig. 11 a, observe que há no circuito uma fonte de 12 V para alimentação do motor. Os dois fios na cor laranja foram unidos aos jumpers que estão na protoboard e serão direcionados

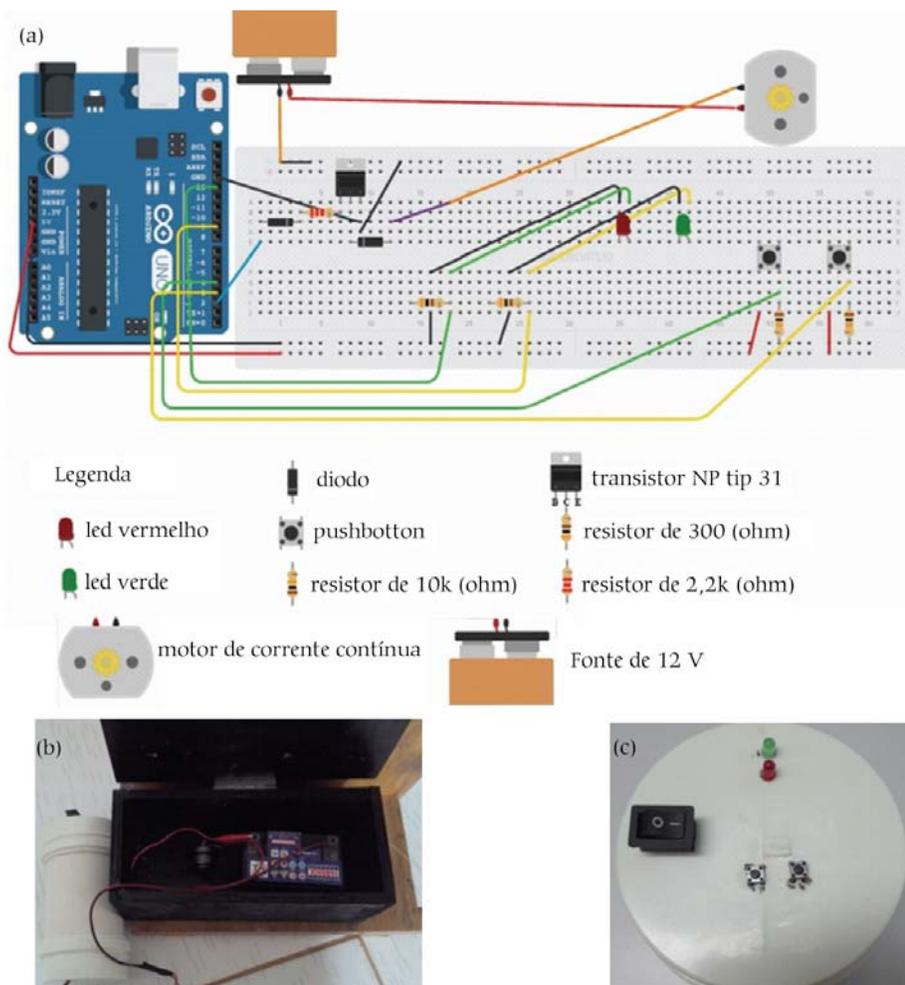


Figura 11: Esquema e estrutura do circuito: (a) placa protoboard e arduino; (b) direcionamento dos fios para a base de lançamento e ligação dos terminais da bateria de 12 V com o sistema de acionamento feito de (c) cano PVC de 100 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento e um cap em cada extremidade.

para a base de lançamento, sendo um para a bateria e um para o motor. Além das peças utilizadas na Fig. 11a e citadas no texto até o momento, utilizamos uma bateria de 9 V com um cabo plug P4 para alimentação do arduino. Como os fios na protoboard foram concentrados em uma das extremidades, não comprometemos a visualização dos leds e o uso dos botões.

Com o intuito de proteger nosso circuito optamos por inseri-lo em um cano de PVC 100 mm com 25 cm de comprimento e um cap em cada extremidade. Nessa estrutura realizamos no cap inferior uma abertura para permitir que os fios laranja do circuito da Fig. 11a fossem direcionados para a caixa da base de lançamento e ligados em seus respectivos terminais (Fig. 11b). Já no cap superior realizamos furos para permitir a alocação dos leds e dos botões (Fig. 11c). Observe o interruptor simples que também está alocado no cap. Em um terminal tem-se o cabo plug P4 e no outro a bateria de

9 V. Desse modo, determinamos quando o arduino deve estar trabalhando, ainda



Figura 12: Base de lançamento com um foguete pronto para o lançamento. (a) Vista superior; (b) vista lateral.

que apenas na espera de algum comando.

Após posicionarmos os botões e os leds, soldamos um fio condutor a um terminal do botão, por exemplo, e ligamos o outro lado do fio ao jumper da protoboard com fita isolante. O botão foi encaixado e colado na superfície do cano de PVC com cola tipo Araldite. Na disponibilidade de uma protoboard menor pode-se optar por alocar o seu circuito nesta e, assim, diminuir o tamanho do cano de PVC.

Após finalizarmos o circuito, realizamos no IDE (do inglês *integrated development environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) para arduino, isto é, o ambiente que desenvolve um código que corresponde à linguagem em que o arduino consegue interpretar e realizar comandos. No Apêndice apresentamos o código para esse estudo com linhas de comentários. Em suma, o motor vai trabalhar apenas durante 0,2 s depois de acionado. Esse tempo, necessário para liberar o foguete, deve ser testado antes para evitar qualquer dano.

Por fim, apresentamos em duas vistas na Fig. 12 a estrutura de lançamento com um foguete pronto para o lançamento.

## Conclusão

Após finalizarmos a base e realizarmos alguns lançamentos, concluímos que ela possui desenvoltura e estabilidade para o lançamento, além de atender com êxito às necessidades exigidas. O foguete pode ser lançado em qualquer ângulo entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , que podem ser obtidos através das medidas do raio e do comprimento do arco varrido pelo sistema do lançador, sendo este um fator crucial para o estudo do movimento curvilíneo.

O acionamento remoto do lançamento eliminou a instabilidade gerada pelo acionamento mecânico, que comumente é feito por alguma pessoa. No acionamento mecânico pode ocorrer o deslocamento da base durante a tentativa de puxar o gatilho, o que não ocorre pelo acionamento remoto proposto neste trabalho. Além disso, nossa proposta oferece maior segurança ao usuário, visto que sua interação é unicamente com o gatilho no momento do lançamento. Dessa forma, a base de lançamento automatizada pode ser utilizada como ferramenta metodológica para o estudo de movimento curvilíneo.

Com este trabalho é possível abordar diversas áreas do conhecimento, como mecânica clássica, programação e eletrônica. Desse modo, é possível fornecer aos alunos uma visão mais ampla e até mesmo necessária acerca da integração entre áreas distintas, visto que o mercado de trabalho está cada vez mais restrito, em busca de inovação e praticidade. A integração de diferentes áreas é também indispensável para a obtenção de resultados experimentais ou para a comprovação de teorias. Nossa proposta mostra que isso pode ser feito sem a necessidade do desenvolvimento de projetos com grandes complicações ou apenas superficiais.

## Referências

- [1] E.I. Santos, L.P.C. Piassi e N.C. Ferreira, in: *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*, Jaboticatubas, MG (2004), p. 9.
- [2] J.A. de Souza, *Física na Escola* **8**(2), 4 (2007).
- [3] R.R. Cuzinato, A.M. D'Ambrosio, H.F. de Andrade, A.M. de Queiroz, M.F. de Toledo Filho, B.R. Duarte, V.C. Lorencetti, S.A. Maéstri e R.D. Martins, *Física na Escola* **15**(1), 51 (2017).
- [4] M. McRoberts, *Arduino Básico* (Novatec Editora, São Paulo, 2011), 453 p.

## Apêndice: código para o circuito com a placa arduino

```
const int ledvermelho = 1; //Led vermelho conectado ao terminal 13 do arduino
const int ledverde = 2; //Led verde conectado ao terminal 9 do arduino
const int acionar = 4; //Botão 1 conectado ao terminal 4 do arduino
const int cancelaracionamento = 3; //Botão 2 conectado ao terminal 3 do arduino
const int motor = 5; //Base do transistor (motor) conectado ao terminal 2 do arduino

void setup() { //Definição se os terminais recebem o sinal (input) ou transmitem um sinal (output)
  pinMode (acionar, INPUT);
  pinMode (motor, OUTPUT);
  pinMode (ledvermelho, OUTPUT);
  pinMode (ledverde, OUTPUT);
  pinMode (cancelaracionamento, INPUT);
}

void loop() {
  if(digitalRead(acionar)== HIGH){ //Se o botão 1 for pressionado
    digitalWrite(ledvermelho, HIGH);
    delay(5000); //Led vermelho aceso por 5s
    digitalWrite (ledverde, HIGH);
    delay(2000); //Led verde aceso por 2s
    if (digitalRead (cancelaracionamento)== HIGH){ //Se o botão 2 estiver pressionado
      digitalWrite (ledvermelho, LOW); //Apaga led vermelho
      digitalWrite (ledverde, LOW); //Apaga led verde
    } else { //Caso contrário
      digitalWrite (ledvermelho, LOW); //Led vermelho desligado
      digitalWrite (motor, HIGH);
      delay(200); // Motor trabalha por 0,2s
      digitalWrite (motor, LOW); //Motor desligado
      digitalWrite (ledverde, LOW); //Led verde desligado
    }
  }
}
```