

**GRUPO PROENFIS**

**TEMAS PARA O ENSINO DE FÍSICA  
COM ABORDAGEM CTS**

**(Ciência, Tecnologia e Sociedade)**

**GRUPO PROENFIS**

**TEMAS PARA O ENSINO DE FÍSICA  
COM ABORDAGEM CTS  
(Ciência, Tecnologia e Sociedade)**

Deise Miranda Vianna  
Coordenadora do Grupo Proenfis

Deise Miranda Vianna  
José Roberto da Rocha Bernardo  
Organizadores

APOIO:



Copyright © 2013 Bookmakers Editora Ltda.

ISBN: 978-85-65242-33-2

COORDENAÇÃO EDITORIAL: Carlos Irineu e Thalita Uba

CAPA: Nirto Cecon

DIAGRAMAÇÃO E PROJETO GRÁFICO: ALGO+ Soluções Editoriais

REVISÃO: Camila Felice

IMPRESSÃO: Letras e Versos

IMAGENS DE CAPA: Nirto Cecon

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO-NA-FONTE  
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

---

T278

Temas para o ensino de física com abordagem CTS (ciência, tecnologia e sociedade) / Deise Miranda  
Vianna... [et. al.]. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Bookmakers, 2012.  
23 cm

ISBN 978-85-65242-33-2

1. Física (Ensino médio) 2. Prática de ensino. I. Vianna, Deise Miranda

12-9250.

CDD: 370.71  
CDU: 37.02

17.12.12 20.12.12

041617

---

[2013]

Todos os direitos desta edição reservados à

BOOKMAKERS EDITORA LTDA.  
Av. Treze de Maio, 23, grupo 721  
20.031-007 – Centro  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel: (21) 3648-1351  
www.bookmakers.com.br  
1ª edição - Janeiro de 2013

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INTRODUÇÃO	9
O DIA A DIA DAS UNIDADES DE MEDIDAS	17
<i>Sandro Soares Fernandes</i>	
TRÂNSITO E A PRIMEIRA LEI DE NEWTON	35
<i>Paulo Henrique de Sousa Silva</i>	
O MOVIMENTO DOS SATÉLITES	50
<i>Leandro Batista Germano</i>	
ÁGUA DE LASTRO: UM PROBLEMA DE HIDROSTÁTICA	71
<i>Vitor Cossich de Holanda Sales</i>	
O MOTOR A COMBUSTÃO NA SOCIEDADE	92
<i>João Paulo Fernandes</i>	
IRREVERSIBILIDADE	112
<i>Carlos Frederico Marçal Rodrigues</i>	

EFEITO ESTUFA 135

*Leandro Nascimento Rubino*

PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
USINAS HIDRELÉTRICAS 155

*José Roberto da Rocha Bernardo*

ESPELHOS PLANOS 183

*Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza*

AS ONDAS DE RÁDIO E A QUESTÃO  
DAS "RÁDIOS-PIRATAS" 206

*Ana Paula Damato Bemfeito*

RAIOS X 238

*Fabio Ferreira de Oliveira*

## APRESENTAÇÃO

Já escrevemos anteriormente sobre a necessidade de uma renovação no ensino de ciências e mostramos que, para essa renovação, é necessário um novo posicionamento do professor em suas classes. Para o desenvolvimento de suas aulas, o professor precisa de materiais instrucionais coerentes com uma proposta de ensino como investigação, o que implica também uma renovação desses programas de atividades. O livro *Temas para o ensino de Física com abordagem CTS* chega para suprir essa necessidade.

O presente livro incorpora duas das tendências propostas nos últimos documentos oficiais brasileiros – ensino por investigação e abordagem CTS –, tanto na preparação de material instrucional para os alunos como em sugestões metodológicas para os professores, pois cada um dos capítulos começa com uma discussão de como o tema e as atividades didáticas podem ser trabalhados pelos professores em suas escolas antes de apresentar as atividades para os alunos.

Os temas propostos por cada um dos capítulos, ao serem organizados com um enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), visam a dar aos estudantes uma visão humanística para a ciência a ser estudada, favorecendo, assim, a formação de cidadãos capazes de atuar de forma responsável em relação a temas controversos de nossa sociedade e que incorporam aspectos sociocientíficos. Por outro lado, uma proposta metodológica, que tem suas bases no ensino por investigação, constitui uma orientação que enfatiza o

questionamento, a resolução de problemas abertos e o desenvolvimento do senso crítico do aluno sobre a importância da ciência e suas aplicações na sociedade em que vive, fortalecendo também sua participação como cidadão. A união de ambas as facetas – conteúdo e metodologia – contribui para as alfabetizações científica e tecnológica dos alunos.

A intenção do grupo PROENFIS vai além da publicação de um livro impresso. O grupo tem a proposta de divulgação do texto também em site, na forma de um *e-book*. Nesse formato o livro ganha nova dimensão, pois o material didático apresentado no texto escrito, como as experiências, as músicas e os vídeos, podem ser acessados no site, trazendo aos alunos uma melhor contextualização do conhecimento a ser aprendido.

No site, [www.proenfis.pro.br](http://www.proenfis.pro.br), o grupo PROENFIS disponibilizará ainda sua produção acadêmica, incluindo artigos publicados e oficinas realizadas, permitindo, assim, que outros professores e pesquisadores avaliem os produtos didáticos e possam fazer uso gratuito dos textos. Esse material tem o objetivo de suprimir parte do déficit de materiais didáticos, contextualizados, de fácil inserção na linha programática do ensino médio.

E o que é melhor: esse material pode ser utilizado tanto no ensino tradicional quanto nos cursos a distância.

*Anna Maria Pessoa de Carvalho*

## INTRODUÇÃO

Teremos de aprender a viver com duas vozes contraditórias que falam ao mesmo tempo, uma sobre a ciência em construção, outra sobre a ciência acabada. Esta última produz frases como ‘faça isto... faça aquilo’; a primeira diz: ‘o suficiente nunca é suficiente’. (LATOIR, 2000. p. 31)

Um dos aspectos que envolvem o trabalho dos professores das disciplinas científicas é a necessidade de ensinar aos estudantes aquilo que os cientistas fazem e falam. Porém, se já temos a dicotomia apresentada no excerto acima, o que levar para as salas de aula? Na sociedade contemporânea, é cada vez mais importante que os estudantes se apropriem da linguagem da ciência e da tecnologia e se expressem corretamente sobre esses campos do conhecimento, a fim de que possam participar de forma articulada em discussões acerca de temas atuais em ciência-tecnologia, preparando-se plenamente para o exercício da cidadania.

Há mais de uma década estamos pesquisando e produzindo materiais que possam estimular discussões junto aos estudantes do ensino médio sobre a ciência que é feita pelos cientistas e a que é apresentada em sala de aula pelos professores. Nesse sentido, o que precisamos é contextualizar os conteúdos de Física.

Entre as diferentes correntes de ensino de ciências (no caso, a Física) que apresentam propostas relacionadas com materiais didáticos, ao longo do tempo e em diferentes países, destacamos as que se preocupam em promover o desenvolvimento cognitivo dos estudantes visando à construção de uma postura crítica deles diante do mundo em que vivem. É importante que o estudante, de alguma maneira, se sinta motivado a participar das aulas de ciências sem deixar de compreendê-las como uma forma diferente de falar e de pensar sobre o mundo que o cerca.

De acordo com nossa visão, a disciplina escolar Física é mais do que um conjunto de conteúdos a serem ensinados apenas teoricamente. Ela deve ser entendida como um meio para ensinar a cultura científica, que possui suas próprias regras, valores e linguagem. Cultura esta cuja introdução se faz obrigatória para os estudantes e pela escola.

O enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), visto como alternativa humanista para o ensino de ciências (AIKENHEAD, 2006), tem sido indicado como um dos caminhos para a construção de um letramento científico e tecnológico que favoreça a formação de cidadãos capazes de atuar de forma responsável em relação a temas controversos que incorporem aspectos sociocientíficos (SANTOS e MORTIMER, 2009).

A perspectiva CTS tem sido incorporada em diversas propostas curriculares no mundo, embora com abordagens muito diferentes (AIKENHEAD, 1994). No contexto brasileiro, tem sido tema de estudos de pesquisadores da área de ensino de ciências (ANGOTTI e AUTH, 2001; AULER e DELIZOICOV, 2001; PINHEIRO *et al.*, 2007), onde encontramos iniciativas que vão desde a elaboração de materiais didáticos até propostas curriculares de alcance regional (SANTOS e MORTIMER, 2009).

Desde 2006, o grupo de pesquisa em ensino de Física PROENFIS vem incorporando e articulando trabalhos de alunos de graduação e pós-graduação (mestrado acadêmico, mestrado profissional

e doutorado) do Instituto de Física da UFRJ, do Instituto Oswaldo Cruz-Fiocruz e do CEFET-RJ. Ao longo do tempo, foram produzidos materiais para o ensino de Física com destaque para os de enfoque CTS. Algumas dessas propostas já foram apresentadas em *Novas perspectivas para o ensino de Física: propostas para uma formação cidadã centrada no enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS)*, organizado por Vianna (2008), tendo sido divulgadas e implementadas em escolas da rede pública do Rio de Janeiro.

Concordando com os princípios e pressupostos do movimento CTS, entendemos que a abordagem de conteúdos deve proporcionar ao estudante da educação básica a construção do seu conhecimento a partir de discussões que envolvam o papel social da ciência-tecnologia inserida no mundo atual, a fim de possibilitar que ele desenvolva uma visão crítica do mundo globalizado (BERNARDO, SILVA e VIANNA, 2011).

O material que agora apresentamos, *Temas para o ensino de Física com abordagem CTS*, contém textos que podem ser utilizados por professores e estudantes do ensino médio, onde sugerimos estratégias para a inserção de algumas propostas desenvolvidas para a sala de aula. Todo o material impresso aqui apresentado está também disponível no site [www.proenfis.pro.br](http://www.proenfis.pro.br) e pode ser utilizado integralmente ou adaptado pelos interessados, de acordo com sua realidade na escola, sem a pretensão de ser prescritivo.

Muitas propostas aqui apresentadas foram utilizadas pelos próprios autores ou colaboradores em diferentes escolas. Em geral, as reflexões e as análises realizadas mostraram bons resultados em relação a essas inserções. Alguns autores têm seu material acadêmico publicado integralmente nas páginas das diferentes instituições citadas onde cada trabalho foi desenvolvido. Outros trabalhos estão, até o momento, ainda em fase de implementação, embora todos tenham sido validados por bancas de professores e de pesquisadores quando apresentados oficialmente em defesas públicas de trabalhos de conclusão nos diferentes cursos. Por se

tratarem de materiais oriundos de cursos de diferentes níveis acadêmicos, eles apresentam propostas diferenciadas e compatíveis com cada nível acadêmico.

As propostas são apresentadas na forma de material didático para os estudantes, contendo textos, experiências, vídeos, histórias em quadrinhos, músicas e outras atividades, assim como sugestões metodológicas para os professores. Todo o material se destina àqueles que estejam interessados nessa proposta didática, mas que a entendam como sugestão sujeita a modificações cabíveis para cada contexto educacional.

Assim como a ciência tem suas vozes contraditórias, o ensino das ciências pode e deve trabalhar com dúvidas e controvérsias que possam auxiliar a aprendizagem dos estudantes. Acreditamos que uma abordagem metodológica diferenciada, sobretudo em relação à introdução de atividades experimentais, se faz necessária. Nesse sentido, procuramos trabalhar com atividades investigativas (AZEVEDO, 2004), buscando dar oportunidade para que o estudante possa atuar de forma reflexiva e ativa em cada situação proposta, possibilitando, assim, a discussão entre os pares, de modo a ampliar e a modificar seu conhecimento sobre a ciência a partir do diálogo em sala de aula. Inspiradas por essa forma de introduzir conceitos e conteúdos, as propostas procuram apresentar diferentes estratégias de abordagem didática para a sala de aula, com ênfase em questões ou problemas abertos (AZEVEDO, 2004).

No que diz respeito à organização das propostas, os 11 temas apresentados não seguem uma ordenação programática de conteúdos para o ensino médio, mas todos estão relacionados com qualquer grade curricular para o ensino de Física e para esse segmento da educação básica.

A seguir, apresentaremos cada um dos autores e os respectivos assuntos abordados.

No Capítulo 1, o autor SANDRO SOARES FERNANDES aborda o tema *O DIA A DIA DAS UNIDADES DE MEDIDAS*, que

busca valorizar a importância que os processos de padronização das medidas têm na organização das sociedades.

PAULO HENRIQUE DE SOUSA SILVA apresenta, no Capítulo 2, o tema *TRÂNSITO E A PRIMEIRA LEI DE NEWTON*, em que sugere um projeto didático cujo material para o estudante é inserido por meio de vídeos encontrados na internet. São vídeos relacionados com o cotidiano do estudante e que propõem questões abertas para serem discutidas.

O autor LEANDRO BATISTA GERMANO apresenta, no Capítulo 3, o tema *MOVIMENTO DOS SATÉLITES*, para abordagem de conteúdos de Gravitação Universal.

No Capítulo 4, VITOR COSSICH DE HOLANDA SALES desenvolve o texto *ÁGUA DE LASTRO: UM PROBLEMA DE HIDROSTÁTICA*, para discutir os conceitos de pressão e de empuxo, baseando-se em desafios e propondo uma discussão que envolva o problema do uso da água de lastro para equilíbrio de embarcações e seus efeitos ambientais.

No Capítulo 5, o autor JOÃO PAULO FERNANDES desenvolve o tema *O MOTOR A COMBUSTÃO NA SOCIEDADE*, para abordar conteúdos de Termodinâmica a partir de discussões que problematizam a controvérsia que envolve tecnologia e meio ambiente no contexto da produção de automóveis e do aquecimento global.

O autor CARLOS FREDERICO MARÇAL RODRIGUES apresenta o texto *IRREVERSIBILIDADE* no Capítulo 6, onde aborda os processos físicos naturais e sua relação com a degradação da energia por meio de duas atividades. A primeira atividade é mediada por um texto jornalístico sobre o moto-perpétuo e a segunda, por vídeos que mostram fenômenos do cotidiano.

No Capítulo 7, LEANDRO NASCIMENTO RUBINO apresenta a problemática do *EFEITO ESTUFA*, utilizando-o como tema organizador para discutir os conceitos físicos de emissão, reflexão,

absorção de energia radiante e ressonância como consequência da necessidade do entendimento do fenômeno do efeito estufa. São utilizados textos, vídeos retirados da internet e um experimento de baixo custo.

O autor JOSÉ ROBERTO DA ROCHA BERNARDO, no Capítulo 8, apresenta a *PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM USINAS HIDRELÉTRICAS* como eixo estruturante de discussões sobre as questões socioambientais que envolvem o tema, além de deixar pistas para a abordagem de assuntos como: energia cinética, trabalho, teorema do trabalho-energia, energia potencial elástica, energia potencial gravitacional, princípio da conservação da energia, determinação de campos magnéticos em torno de condutores retilíneos, no interior de uma espira ou de um solenoide, princípio da indução eletromagnética, entre outros.

EDUARDO OLIVEIRA RIBEIRO DE SOUZA apresenta o texto *ESPELHOS PLANOS* no Capítulo 9, onde desenvolve uma metodologia baseada no uso de quadrinhos produzidos pelo próprio autor para abordagem do assunto em situações do cotidiano.

No Capítulo 10, a autora ANA PAULA DAMATO BEMFEITO aborda o tema *AS ONDAS DE RÁDIO E A QUESTÃO DAS "RÁDIOS-PIRATAS"*, onde procura trabalhar com as ondas de rádio através de uma sequência de etapas voltadas para o enfrentamento da polêmica envolvendo as "rádios-piratas", a qual culmina em um debate que considera as dimensões científica, tecnológica, social, administrativa e jurídica relacionadas ao tema.

FABIO FERREIRA DE OLIVEIRA, no Capítulo 11, apresenta o tema *RAIOS X*, onde aborda elementos da história de construção do conhecimento sobre os raios X, algumas das suas aplicações tecnológicas, assim como os conceitos físicos envolvidos com o tema.

Finalmente, gostaríamos de enfatizar que compartilhamos com Carvalho (2008) a compreensão de que ensinar Física é dar oportunidade para que os estudantes reflitam sobre o mundo em

que vivem, a partir da sua inserção consciente nas culturas científica e tecnológica, e assim esperamos ter contribuído para estreitar a lacuna em relação à disponibilidade de material didático para o ensino de Física contextualizado com esse conjunto de propostas de fácil inserção na linha programática do ensino médio, tanto na educação presencial como a distância.

Este material é parte de um projeto intitulado *Temas para o ensino de Física com abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) – PROENFIS*, apoiado pela FAPERJ, em 2012, através do Edital nº 08/2012 – Material didático.

A circulação e a implementação das propostas, acompanhadas de críticas e sugestões, poderão nos dar a oportunidade de reexaminá-las e reformulá-las futuramente, uma vez que o material ficará disponível na internet.

Agradecemos aos autores por terem acreditado no PROENFIS desde o início e por disponibilizarem suas salas de aula para inserção das propostas já finalizadas e daquelas ainda em andamento nas escolas parceiras.

*Deise Miranda Vianna*

*José Roberto da Rocha Bernardo*

Organizadores

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKENHEAD, G. What is STS Science Teaching? In: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. (Orgs.). *STS Education - International perspectives on reform*. New York: Ed. Teachers College Press, 1994. p. 47-59.

\_\_\_\_\_. *Science education for everyday life: evidence-based practice*. New York: Ed. Teachers College Press, 2006.

ANGOTTI, J. A. P.; AUTH, M. A. Ciência e Tecnologia: implicações sociais e o papel da educação. *Ciência em Educação*, Bauru, Editora da Unesp, n. 1, v. 7, 2001. p. 15-27.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Revista Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, n. 2, v. 3, Belo Horizonte, UFMG, 2001. p. 105-115.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de Ciências*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.

BERNARDO, J. R. da R.; SILVA, V. H. D.; VIANNA, D. M. A construção de propostas de ensino em Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) para abordagem de temas sociocientíficos. In: SANTOS, W. L. P. dos; AULER, D. (Orgs.). *CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2011. p. 373-393.

CARVALHO, A. M. P. *Enculturação Científica: uma meta no ensino de ciências*. Texto apresentado no XIV ENDIPE, Porto Alegre, 2008. p 12.

LATOUR, B. *Ciência em Ação*. São Paulo: Editora da Unesp, 2000.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o ensino médio. *Ciência e Educação*, v. 13, n. 1, Bauru, Unesp, 2007, p. 71-74.

SANTOS, W. L. P. dos; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 2, Porto Alegre, UFRGS, 2009. p. 191-218.

VIANNA, D. M. (Org.). *Novas Perspectivas para o Ensino de Física: Propostas para uma Formação Cidadã Centrada no Enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)*. Rio de Janeiro: Gráfica da UFRJ, 2008.

## Capítulo 1

# O DIA A DIA DAS UNIDADES DE MEDIDAS

*Sandro Soares Fernandes*

### INTRODUÇÃO

As origens dos pesos e medidas perderam-se no tempo e no espaço. Desde a pré-história, a partir do momento que o homem deixou de ser nômade, foi preciso entender e interferir nos domínios da Natureza e se fez presente a necessidade de criar um calendário, estabelecer padrões de medidas que o auxiliassem no plantio, na colheita e nas trocas de mercadorias (LONDRON, 2007). Nesse sentido, inicialmente o homem usava partes do seu corpo para comparar e medir distâncias e agora já usa como padrão de medida a distância entre as estrelas. De que maneira o ato de medir influenciou e continua influenciando nossas vidas?

Atualmente os processos de medições são bem avançados e adequados às necessidades da ciência e da tecnologia, mas houve

tempos que o homem utilizava processos bem simples de comparações de medidas para poder sobreviver e viver em grupo. Desde as primeiras civilizações, os pesos e as medidas foram linguagens usadas no comércio e podem ser considerados como pilares de sustentação para as sociedades no que diz respeito às relações de troca no comércio, da padronização para medir a produção e do suporte dimensional para as ciências e as tecnologias. Com o passar do tempo, o homem evoluiu e, com ele, evoluíram também os sistemas de medidas.

O homem primitivo não necessitava de um sistema de medidas muito sofisticado, precisando apenas ter noções de algumas medidas, saber se um objeto era “maior que” ou “mais leve que” outros objetos. As primeiras unidades de comprimento foram estabelecidas tomando como base as dimensões de partes do corpo humano. Essas unidades eram chamadas de *antropomórficas* e podemos citar, como exemplos, a polegada, o pé, o palmo, os dedos, o côvado, entre outros mais. À medida que o homem foi evoluindo e suas necessidades foram aumentando, esse sistema já não era mais tão eficiente, pois havia dedos grandes e pequenos, homens altos e baixos, braços maiores do que os outros, sendo necessária a criação de um padrão que não gerasse esse tipo de problema.

Um sistema de medidas eficiente é aquele que satisfaz as necessidades das atividades relacionadas à metrologia<sup>2</sup> e que envolve determinadas unidades que representam todas as grandezas mensuráveis. Ele deve ser simples, coerente e suficiente para garantir a elaboração de sistemas de equações físicas independentes e compatíveis.

Apresentamos uma atividade que pode levar o aluno a compreender a importância de um sistema de medidas coerente e adequado para a sociedade moderna. O assunto não tem recebido a atenção que merece e os alunos geralmente o classificam como um

<sup>2</sup> Metrologia (metrology / métrologie). Ciência da medição e suas aplicações. Vocabulário Internacional de Metrologia, 3ª ed., IPQ, nov. 2008.

tema pouco interessante. Podemos usar como motivadoras situações-problema que despertem curiosidades por meio de vídeos, imagens e/ou texto.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

Serão apresentadas duas atividades sobre as unidades de medidas, cujo tema é facilitador para a construção de uma atividade didática em CTS que ofereça uma formação ao aluno voltada para a tomada de decisões que envolvam a “base científica da tecnologia e a base prática das decisões” (SANTOS e MORTIMER, 2002).

### Atividade 1: Desafiando as unidades de medidas

Para iniciar a primeira atividade, propomos que a turma assista a vídeos que tratam das irregularidades nos pesos e nas medidas dos produtos em alguns supermercados, mostrando também o trabalho dos órgãos reguladores, como o Instituto Nacional de Pesos e Medidas, nas investigações das irregularidades. O INPM verificou que 60% dos produtos da cesta básica do trabalhador brasileiro estavam fora dos padrões de medidas. Dessa forma, buscamos mostrar ao aluno a importância do tema abordado. Assim, ele percebe que o problema que está resolvendo é do dia a dia das pessoas, do seu pai e da sua mãe, e que tem a ver diretamente com a economia da sua família.

O primeiro vídeo está ilustrado na Figura 1 a seguir e mostra irregularidades no peso de alguns produtos da cesta básica dos brasileiros, como arroz e feijão, indicando que o erro nas medidas pode chegar a 120 gramas por quilograma do produto. Nesse momento, o professor, com o auxílio de uma balança e de alguns produtos, pode confirmar algumas dessas irregularidades na sala de aula.



Figura 1: Atenção, consumidor!

Fonte: [www.youtube.com/watch?v=u-\\_Pt\\_yum-g](http://www.youtube.com/watch?v=u-_Pt_yum-g)

No próximo vídeo (Figura 2), os alunos podem perceber o papel importante dos órgãos reguladores para a manutenção dos padrões de medidas dos produtos nos supermercados. Pode ser interessante o incentivo ao debate, a fim de que os alunos tomem consciência da importância dessa fiscalização. Eles podem ser questionados, por exemplo, se costumam se preocupar em verificar se os produtos estão dentro dos padrões de medidas e se há esse tipo de preocupação em suas casas. Exemplos do dia a dia podem ser utilizados como: ao comprar um rolo de linha de soltar pipas, será que o comprimento da linha está correto? E quanto ao comprimento de um rolo de fita adesiva ou de um durex? Será que as medidas estão corretas?



Figura 2: Irregularidades nos pesos e nas medidas dos produtos.

Fonte: [www.youtube.com/watch?v=RxlmiaAfoi4&feature=relmfu](http://www.youtube.com/watch?v=RxlmiaAfoi4&feature=relmfu)

O material para os alunos está na unidade III: *Desafiando as Unidades de Medida*. Os alunos da turma trabalham em grupos e devem comparar preços de produtos de um supermercado fictício, *Pare & Compare*, com os preços das grandes redes de supermercados que conhecemos. Os alunos recebem o prospecto com os produtos e os preços de várias redes de supermercados e do *Pare & Compare*. A relevância dessa atividade está nas unidades utilizadas no supermercado fictício. O objetivo é fomentar discussões nos grupos a fim de que sejam construídas relações corretas entre as diferentes unidades apresentadas pelos dois supermercados.

### Atividade 2: Da arca de Noé à Enterprise

Nessa segunda atividade, os grupos têm a oportunidade de efetuar algumas medidas. Também podemos usar no início da atividade, como motivação, *trailers* dos filmes *Star Trek* (Figura 3) e *A Volta do Todo Poderoso* (Figura 4). Nesse caso, os alunos também recebem um roteiro e devem responder e justificar as situações-problema apresentadas nele.



Figura 3: Star Trek 2009 – The New Enterprise.

Fonte: [www.youtube.com/watch?v=-TUptZhKkMo](http://www.youtube.com/watch?v=-TUptZhKkMo)



Figura 4: Noah's Ark Animal Parade 2.

Fonte: [www.youtube.com/watch?v=tmk2Kd5QNw0](http://www.youtube.com/watch?v=tmk2Kd5QNw0)

As unidades diferentes usadas no projeto da Arca de Noé e da nave Enterprise levarão os estudantes a buscar uma relação entre elas, o côvado e o metro, para efetuarem as devidas comparações que os conduzirão à resposta. É importante nessa atividade que o aluno perceba que o ato de efetuar uma medição consiste em fazer uma comparação entre o tamanho do instrumento e o que se pretende medir. No início dessa atividade, os alunos devem medir o comprimento de uma sala de aula usando duas partes do seu corpo como instrumentos de medida. A necessidade de se escolher

duas partes do corpo é justamente para que percebam a vantagem de uma sobre a outra durante as medições que realizam.

Aplicações já realizadas dessa atividade mostraram uma rica discussão entre os integrantes dos grupos sobre a melhor estratégia de medição e de organização dos dados. Depois que todos os grupos realizarem suas medidas, o professor poderá tomar os dados e organizá-los na lousa com a ajuda dos alunos, construindo uma tabela para facilitar a visualização. O papel do professor é fundamental na condução das discussões sobre a escolha do melhor instrumento de medida a ser utilizado. Após uma nova medição feita pelos alunos com o “melhor” instrumento, o professor poderá organizar nova discussão sobre os resultados obtidos e suas possíveis diferenças, embora todos tenham usado o mesmo instrumento, ou seja, a mesma parte do corpo para realizar as medidas. Espera-se que eles percebam que a escolha de instrumentos de medidas utilizando partes do corpo não é conveniente.

O que se deseja nessa etapa é que o aluno perceba que, de acordo com o que se pretende medir, é mais interessante usar um instrumento do que outro. Buscando essa percepção do aluno, solicitamos que ele faça a medida de um objeto cujo tamanho seja menor do que o objeto medido anteriormente – uma barra de madeira, por exemplo –, de maneira que não seja prática para ele a utilização dos mesmos instrumentos.

Na antiguidade, a maioria dos povos tinha dois padrões de medidas, os quais eram usados para pequenas e longas distâncias. Essa informação pode ser explorada pelo professor, já que provavelmente a escolha dos instrumentos a serem utilizados pelos alunos, para medir a sala e a barra de madeira, serão diferentes, assim como antigamente.

## II. MATERIAL DO ALUNO

### Atividade 1: Desafiando as unidades de medida

Preparem-se! Vem aí uma nova rede de supermercados pronta para brigar de igual para igual na disputa de consumidores que buscam qualidade e preços baixos.

**SUPERMERCADO**  
**Pare & Compare**

Figura 5: Logotipo do Supermercado Pare & Compare.

Dona Ana, funcionária da nossa escola, ficou sabendo da inauguração de uma das lojas da rede aqui perto, e não poderia perder a oportunidade de ir conhecer o novo mercado e, quem sabe, já levar alguns produtos para casa – se valer a pena, é claro!

No entanto, ela voltou para casa um pouco frustrada e sem comprar nenhum produto, pois, ao analisar o prospecto na entrada da loja com a propaganda e com os preços dos produtos, ficou confusa com as unidades utilizadas e não sabia se os preços eram mais vantajosos ou não.

Gostaria de propor a vocês, hoje, o desafio de verificar se os produtos vendidos na nova rede de supermercados estão realmente baratos ou se temos mais uma propaganda enganosa. Vocês estão recebendo uma propaganda da rede de supermercados *Pare & Compare* (Figura 6) e também de uma grande rede de supermercados já conhecida de todos para usar como referência, caso seja necessário. Cabe a cada grupo avaliar se os produtos da rede *Pare & Compare* estão com seus preços vantajosos em relação aos valores de mercado.

**P & C**

**SUPERMERCADO**  
**Pare & Compare**

 <b>PIZZA SABORES</b> 1000 cm <sup>2</sup> <b>R\$ 15,50</b>	 <b>BANANA</b> <b>R\$ 0,50</b> UNIDADE	 <b>Deteslo Barba</b> <b>BARBEADOR</b> <b>R\$ 12,25</b> 1m <sup>2</sup> de barba
 <b>ESPAGUETE</b> pct 150 m <b>R\$ 1,65</b>	 <b>MANTEIGA</b> DE GARRAFA 600 ml <b>R\$ 8,49</b>	 <b>TOALHA</b> DE BANHO 1 kg <b>R\$ 30,00</b>
 <b>AZEITONA</b> 100 unidades <b>R\$ 4,99</b>	 <b>FEIJÃO</b> PET 600 ml <b>R\$ 1,99</b>	 <b>Kibomba</b> <b>SORVETE</b> uma bola <b>R\$ 0,49</b>
 <b>SANDÁLIAS</b> até 5 anos de caminhada <b>R\$ 45,50</b>	 <b>LÂMPADA</b> FLUORESCENTE 1800 horas de uso <b>R\$ 9,99</b>	 <b>PÃO DE FORMA</b> FATIA <b>R\$ 0,30</b>

Figura 6: Prospecto de propaganda do supermercado Pare & Compare.

Na Tabela 1 abaixo estão listados os produtos e, ao lado, um espaço para os comentários de cada grupo.

**Tabela 1: Preferências entre os produtos dos supermercados Pare & Compare e outros.**

PRODUTO	COMENTÁRIOS
Pizza	
Banana	
Barbeador	
Espaguete	
Manteiga	
Toalha	
Azeitona	
Feijão	
Sorvete	
Sandália	
Lâmpada	
Pão	

## Atividade 2:

### Texto 1

#### Da arca de Noé à Enterprise

“Então disse Deus a Noé: ‘O fim de toda a carne é vindo perante minha face; porque a terra está cheia de violência; e eis que os desfarei com a Terra.

‘Faze para ti uma arca de madeira de Gofer (Figura 7): farás compartimentos na arca, e a betumarás por dentro e por fora com betume.

E desta maneira farás: de trezentos côvados o comprimento da arca, de cinquenta côvados sua largura e de trinta côvados sua altura.

Farás na arca uma janela, e de um côvado a acabarás em cima; e a porta da arca porás ao seu lado; far-lhe-ás andares baixos, segundos e terceiros’ (...).

Assim fez Noé: conforme a tudo o que Deus lhe mandou, assim o fez.”

(Gênesis, 6: 13-21)



Figura 7: Ilustração da Arca de Noé.

Fonte: FERNANDES, S. S. Uma atividade investigativa envolvendo sistema métrico. Física na Escola, n. 2, v. 12, 2011.

### Texto 2

Spock: Estamos a uma distância aproximada de 12 parsecs da nave do capitão.

Scott: Jamais chegaremos a tempo de salvar a nave.

Spock: Seria possível se conseguíssemos velocidade de dobra quatro.

Scott: Mas essa velocidade é impossível de ser atingida.

Spock: Você já descobriu como fazer isso.

Scott: Não sou capaz de gerar essa velocidade na Enterprise.

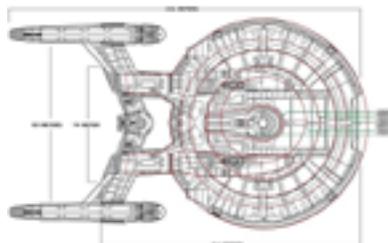


Figura 8: Nave Enterprise.

Fonte: [www.startrek-wallpapers.com/Enterprise/Enterprise-NC01-Schematics/](http://www.startrek-wallpapers.com/Enterprise/Enterprise-NC01-Schematics/)

### Texto 3

Em um futuro não muito distante... Nosso planeta está ameaçado de extinção em razão da colisão de um imenso asteroide de 100 km de diâmetro. Será o fim da vida na Terra. Devido às circunstâncias do desastre iminente, não há como reconstruir a Arca de Noé e salvar um casal de cada ser do planeta para uma futura proliferação das espécies. Nossa única chance é a utilização da Enterprise, única nave capaz de viajar para fora do nosso sistema em busca de novos lares, construída com a mais avançada tecnologia conhecida.

Você acha que seria possível colocar um casal de cada espécie na Enterprise, assim como foi feito por Noé em sua arca? Justifique sua resposta.

### RESPONDA

I) Utilizando alguma parte do seu corpo, meça o comprimento dessa sala. Cada grupo escolhe duas partes diferentes. Orga-

nize as medidas obtidas, indicando também vantagens e desvantagens da escolha.

II) Preencha a Tabela 2 com os dados de todos os grupos fornecidos pelo professor.

Tabela 2

GRUPO	INSTRUMENTO I	INSTRUMENTO II	MEDIDA I	MEDIDA II
I				
II				
III				
IV				

III) Utilizando o melhor instrumento de medida escolhido pela turma, cada grupo mede o comprimento da sala e preenche os dados na Tabela 3.

Tabela 3

GRUPO	MEDIDA USANDO O INSTRUMENTO I
I	
II	
III	
IV	

IV) Utilizando partes do seu corpo, meça o comprimento do lápis deixado sobre a mesa pelo professor. Cada grupo deve escolher duas partes do corpo diferentes para efetuar as medições. Organize as medidas obtidas, indicando também vantagens e desvantagens dessa escolha.

V) Preencha a Tabela 4 abaixo com os dados de todos os grupos fornecidos pelo professor.

Tabela 4

GRUPO	INSTRUMENTO I	INSTRUMENTO II	MEDIDA I	MEDIDA II
I				
II				
III				
IV				

VI) Utilizando o melhor instrumento de medida escolhido pela turma, cada grupo mede novamente o comprimento do lápis fornecido para a atividade e preenche a Tabela 5.

Tabela 5

GRUPO	MEDIDA USANDO O INSTRUMENTO II
I	
II	
III	
IV	

#### Texto 4

Essa diversidade de medidas obstruía a comunicação e o comércio e atrapalhava a administração racional do Estado. Além disso, tais medidas raramente eram precisas. “Até o fim do século XVIII, a precisão não era essencial porque a prática capitalista ainda não estava difundida no mundo”, diz o historiador da ciência Shozo Motoyama, da USP. “A precisão adquire importância quando se passa a considerar o lucro e o ganho que cada um pode obter em uma transação econômica.” A decisão de criar um modelo de unidades que fosse universal, prático e exato finalmente se concreti-

zou com a Revolução Francesa, em 1789. O rompimento com as tradições feudais abriu caminho para ideias inovadoras... O plano era elaborar um sistema de unidades baseado em um padrão da Natureza, imutável e indiscutível. Como a Natureza não pertence a ninguém, tal padrão poderia ser aceito por todas as nações e se tornaria um sistema universal.

I) A utilização de partes do corpo para efetuar medidas, as quais já foram e ainda são utilizadas por diversos povos ao longo da história, é boa ou não para ser usada como padrão de unidades? Justifique.

II) Usando os dados do Anexo abaixo, procure responder a pergunta proposta no início da atividade e comparar os tamanhos da Enterprise e da Arca de Noé.

#### ANEXO:

#### Alguns sistemas pré-métricos:

##### Babilônios

Antebraço humano (50 cm) e beru (10 km)

##### Mesopotâmios

Palmo (9,3 cm)

Polegar (1/3 do palmo)

Côvado médio (4 palmos)

Côvado grande (5 palmos)

### Gregos

Pé grego (30,83 cm)

Dedo (1/16 do pé)

Plethron (100 pés)

Estádio (600 pés. Medido pela primeira vez por Hércules, era a distância que o homem poderia correr sem respirar.)

### Romanos

Pé romano (29,57 cm)

Digitus (1/16 do pé)

Palmus (1/4 do pé)

Passus (5 pés)

Mille Passus (1.000 passos ou 5.000 pedes)

Leuga (7.500 pedes)

### Chineses

Um tronco de bambu era usado como unidade de medida de comprimento a partir da distância entre seus extremos. A invariabilidade era garantida pela imposição que o tubo emitia, sempre determinada pela nota musical quando usado como apito. Sua capacidade era usada como unidade de volume, e o peso de determi-

nado material que preenchia o interior do tronco era usado como unidade de massa.

### O metro

O metro (m) foi um grande vitorioso da unificação, desbancando as medidas inglesas: a polegada perdeu para o milímetro; o pé, para o centímetro; a jardá, para o metro; a milha, para o quilômetro. Contudo, medir a partir de um meridiano também era algo pouco preciso, de forma que, em 1889, definiu-se o metro padrão como a distância entre duas marcas feitas em uma barra de platina e irídio! A barra, que então se tornou o objeto definidor do metro, passou a ficar guardada no BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), em Sèvres. Contudo, a onda atômica também atingiu as medidas de comprimento e, em 1960, o metro foi definido como 1.650.763,73 comprimentos de onda no vácuo da radiação característica do criptônio-86 ( $^{86}\text{Kr}$ ). Mas a medida de segundo era tão precisa que acabou se criando uma tendência (que ainda hoje está em vigor) de definir todas as unidades em função do segundo. Agora uma pergunta de análise dimensional: como se define uma grandeza espacial a partir de uma temporal? Usando uma velocidade (L/T)! E, como sabemos, a velocidade da luz é a única velocidade absoluta do Universo! Então, desde 1983, a definição se tornou:

Um metro é a distância percorrida pela luz em  $1/299.792.458$  de segundo<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Fonte: SILVA, Irineu da. História dos pesos e medidas. São Carlos: EdUFSCar, 2004

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SANTOS, W.L.P. e MORTINER, E.F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. In: Ensaio. Belo Horizonte. V.2 N. 2 UFMG: 2002 p.1-23

LONDRON, E.S.Z. O sistema Métrico Decimal como um Saber escolar em Portugal e no Brasil Oitocentista. Disponível em: <http://www.pucsp.br/pos/edmat/do/tese/>. Acesso: 20 ago. 2012.

**Autor: Sandro Soares Fernandes.**

Formado em licenciatura em Física pela UFRJ, atualmente o autor leciona nas seguintes escolas: Colégio Pedro II (Campus São Cristóvão III), Colégio Palas, Centro Educacional da Lagoa, Colégio Paranapuã e Núcleo de Ensino Roberto Ramos.

Este trabalho é parte da tese de Mestrado, Atividades Investigativas Envolvendo Sistema Métrico, defendida em 07 de fevereiro de 2012, no Instituto de Física da UFRJ (Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física).

## Capítulo 2

TRÂNSITO E A PRIMEIRA  
LEI DE NEWTON

*Paulo Henrique de Sousa Silva*

## INTRODUÇÃO

A Física é a ciência que tenta entender as leis da Natureza que regem todos os processos que se verificam no Universo em geral.

Para compreendermos o pensamento de Newton sobre o Universo, extraímos o seguinte trecho de sua obra Óptica:

Parece-me provável que no princípio Deus formou a matéria segundo partículas sólidas, maciças, duras, impenetráveis, móveis, com tamanhos, formas e propriedades, e em proporção em relação ao espaço condizente aos fins para os quais Ele as criou; e que essas par-

tículas primitivas, sendo sólidas, são incomparavelmente mais duras do que quaisquer corpos porosos que elas constituem; e tão sumamente duras que não se consomem ou se partem em pedaços, pois nenhum poder ordinário é capaz de dividir o que o próprio Deus fez uno no princípio da criação... Portanto, para que a Natureza possa ser duradoura, as mudanças das coisas corpóreas somente ocorrem através de separações e novas associações e movimentos dessas partículas permanentes; com os corpos compostos tendendo a romper-se não no meio dessas partículas sólidas, mas nas partes onde elas se reúnem e apenas se tocam em uns poucos pontos. (NEWTON, 2002, p. 290)

Daí surgiu a necessidade de descrever as leis que regulam o movimento dos corpos, e seu caráter universal serviria de base para a compreensão de todos os processos no Universo. Ao enunciar suas três leis, Newton conseguiu com exatidão descrever e explicar tanto o movimento de grandes astros como de pequeníssimas partículas.

Durante muito tempo, as leis da Mecânica de Newton foram consideradas as únicas leis fundamentais da Natureza. Esse quadro só veio a se alterar durante os estudos sobre os processos eletromagnéticos que não obedecem às leis mecânicas de Newton, mas que regulam o comportamento do campo eletromagnético.

A necessidade de uma proposta de ensino para esse tema surgiu ao se perceber a crescente universalização do acesso à inter-

net. Os incentivos do governo, o crescimento das redes sociais e o advento das tecnologias de acesso rápido, como o *modem 3G* e os *smartphones*, contribuem para colocar o indivíduo em um novo tipo de sociedade, onde ele se mantém cada vez mais conectado à rede. Baseados nessa realidade, optamos pela construção da nossa proposta utilizando vídeos do endereço da rede de internet [www.youtube.com](http://www.youtube.com).

Embora a proposta esteja baseada no uso de recursos tecnológicos, não podemos esquecer que a educação continua a se utilizar de velhos mecanismos que não acompanham a sociedade, tornando a aula cada vez mais distante do cotidiano do aluno. Além disso, são poucas as tentativas de reversão desse quadro, e raras as iniciativas, geralmente frustradas, por falta de embasamento teórico. A fim de conscientizar os estudantes, ao mesmo tempo que aprendem Física na sala de aula, propomos o tema “Acidentes de Trânsito” e, assim, acreditamos que as discussões propostas podem ajudar na formação de cidadãos mais conscientes sobre esse tema.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

Neste trabalho foram selecionados vídeos de sites da internet para que os alunos, com o professor, observem fenômenos do cotidiano. A partir dessas observações, a 1ª lei de Newton é apresentada para os alunos pelo professor.

Assim, este trabalho busca facilitar a compreensão das leis de Newton e suas implicações em nossa sociedade junto aos estudantes, promovendo o desenvolvimento de habilidades como o pensamento crítico, a argumentação, o ceticismo e também a conscientização sobre o modo como a ciência é construída.

Por se tratar de conceitos fundamentais para a Dinâmica, as leis de Newton explicam o movimento da maioria dos corpos.

Sendo assim, elas têm grande influência no desenvolvimento das tecnologias.

O professor pode associar os vídeos com questões abertas. Espera-se que os alunos, ao assistirem aos vídeos, possam chegar às conclusões desejadas. O professor, se possível e se julgar necessário, pode incentivar a interação dos estudantes com os vídeos.

Ao longo do trabalho serão sugeridas questões que ajudarão o aluno em seu processo de aprendizagem; no entanto, por se tratar de questões abertas, o professor poderá sugerir outras perguntas que o auxiliem.

### Atividade 1

O objetivo é colocar o aluno a par dos problemas que ocorrem no trânsito brasileiro e procurar motivos para isso. No final do texto, o autor mostra que países com um índice de educação elevado têm um índice de acidentes menor. A princípio, o aluno pode pensar que essa educação se refere a uma educação no trânsito; porém, no final do trabalho o professor deve chamar a atenção para o fato de essa educação ser referente a um melhor entendimento sobre a Física e sua vida no cotidiano.

### Atividade 2

Essa atividade mostra primeiramente três acidentes de trânsito. O primeiro vídeo é de um homem que pega no sono e capota o veículo. O segundo vídeo é de um ônibus que tomba de lado após derrapar. Finalmente, o terceiro vídeo mostra uma colisão de dois ônibus que possuem câmeras internas. O objetivo é auxiliar o alu-

no a perceber que nenhuma medida de segurança foi adotada em todos os casos.

O quarto vídeo mostra a diferença entre colisões com e sem *airbag* e cinto de segurança. O objetivo é chamar a atenção para a importância do uso dos itens juntos.

### Atividade 3

Agora o objetivo é analisar os vídeos. Primeiramente, com o vídeo 3, o cuidado é fazer notar que existem duas câmeras em dois ônibus e que as pessoas mostram comportamentos distintos em cada ônibus. Depois é exibido o vídeo 4, onde a ideia é abordar o conceito de inércia.

Após a construção do conceito de inércia, os alunos analisam os vídeos 1 e 2, a fim de construir o conceito de força. A única preocupação com esses vídeos é chamar a atenção para a ação da gravidade sobre as pessoas. Finalmente, com os conceitos de força e de inércia chega-se à primeira lei de Newton.

### Atividade 4

Nessa atividade os alunos buscam explicar como o cinto de segurança e o *airbag* atuam fisicamente e impedem os acidentes fatais.

Outra discussão importante é a falta de cinto de segurança na maioria dos ônibus intermunicipais e o jogo de interesses políticos e empresariais em torno desse assunto.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### Atividade 1

Leia a reportagem a seguir:

#### *Acidente de trânsito, o grande mal que pode ser evitado*

Segundo a OMS, os acidentes de trânsito no mundo são a maior causa de mortes entre as pessoas de 10 a 24 anos. Pelo menos 1,2 milhão de pessoas perdem a vida todos os anos nas rodovias e estradas mundo afora.

Os países em desenvolvimento provocam 400 vezes mais mortes que o terrorismo. Matam quatro vezes mais que as guerras e os conflitos.

No Brasil morreram, em um só ano (2010), 40.610 pessoas em acidentes. O que nos deixa em uma situação bastante triste é o fato de que os acidentes ocorrem, em sua maioria, por falhas humanas, principalmente nos finais de semana prolongados e durante as férias escolares, quando aumenta o número de motoristas inexperientes nas rodovias.

Rotina infeliz dos imprudentes que não sabem o que é comemorar datas festivas ou passear com a família. Proporcionalmente à população, o trânsito, no Brasil, é 90% mais perigoso que nos Estados Unidos, e é cinco vezes mais perigoso que na Inglaterra ou no Japão.

Segundo o Ministério da Saúde, os acidentes e violências representam importante problema de saúde pública, que atinge países do mundo inteiro. O Brasil, nas últimas décadas, foi, aos poucos, colocando-se entre os campeões mundiais de acidentes de trânsito.

#### *Acidente de Trânsito no Brasil*

No ano de 2007, dados assustadores da Polícia Rodoviária Federal revelaram que 85% dos condutores de veículos envolvidos em acidentes de trânsito eram do sexo masculino com tempo de habilitação entre 5 (cinco) e 9 (nove) anos e que se encontravam dirigindo entre 00h15 e 1h, apresentando sintomas de embriaguez. Cerca de 25% das vítimas fatais apresentavam sinais de álcool no sangue. Os fatores que contribuíram para essa triste realidade são apontados como sendo os seguintes:

- ▶ Velocidade além da permitida;
- ▶ Distância curta entre os veículos;
- ▶ Não obediência à sinalização;
- ▶ Ultrapassagens mal realizadas;
- ▶ Sono;
- ▶ Uso de drogas e bebidas alcoólicas.

Quanto ao tipo de acidente de trânsito com maior ocorrência, foi constatada a “colisão na traseira”. Das ocorrências, 65% foram registradas com o “tempo bom”, 55% em plena luz do dia, 70% em pistas simples e 70% na reta. O mais triste e vergonhoso é que mais de 90% dos acidentes tiveram como causa principal a falha humana.

O número de acidentes causados pela imprudência dos motoristas que batem na traseira do veículo adiante é tão grande que a jurisprudência considera quem bate atrás como culpado. A mídia está repleta de depoimentos de motoristas causadores de acidentes que afirmam que os freios de seu veículo não funcionaram a tempo de evitá-los.

Através desses dados, algumas providências poderiam ser tomadas para se tentar diminuir esse quadro. Acreditamos que o caminho correto poderia ser através de uma melhor educação. Nos países onde o índice de educação é elevado, o número de acidentes de trânsito é reduzido<sup>2</sup>.

Discuta com seus colegas de turma:

- I) Quais são as principais causas para os acidentes de trânsito?
- II) Que fatores contribuem para esses acidentes e como eles contribuem?
- III) O autor do texto sugere uma providência a ser tomada. Como essa providência pode influenciar na prevenção dos acidentes?

## Atividade 2

Assista aos vídeos:

- ▶ Vídeo 1 – Acidente de carro



Disponível em: [www.youtube.com/watch?v=f3FEw8k0mE4&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=f3FEw8k0mE4&feature=player_embedded)

Acesso em: 20 ago. 2012.

<sup>2</sup> Adaptado de [www.atividadesrodoviaras.pro.br/acidente.htm](http://www.atividadesrodoviaras.pro.br/acidente.htm). Acesso em: 20 ago. 2012.)

- ▶ Vídeo 2 – Acidente no ônibus escolar



Disponível em: [www.youtube.com/watch?v=P50oWQaWeRs](http://www.youtube.com/watch?v=P50oWQaWeRs)

Acesso em: 20 ago. 2012.

- ▶ Vídeo 3 – Acidente de ônibus (dos instantes 21s a 58s)



Disponível em: [www.youtube.com/watch?v=uCTzj\\_w\\_X5o&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=uCTzj_w_X5o&feature=player_embedded)

Acesso em: 20 ago. 2012.

Vimos uma série de acidentes. Responda as perguntas de acordo com o que você observou:

I) Identifique as prováveis causas dos acidentes e diga como eles poderiam ter sido evitados.

II) Você conhece alguma maneira de minimizar os danos que as pessoas sofreram? Dê exemplos.

III) Você observou, em algum vídeo a que assistiu, alguma sugestão que poderia propor?

► Vídeo 4 – Colisão frontal com e sem cinto e *airbag*



Disponível em: [www.youtube.com/watch?v=d7iYZPp2zYY](http://www.youtube.com/watch?v=d7iYZPp2zYY)

Acesso em: 20 ago. 2012.

Discuta com seus colegas de turma com base no vídeo:

I) Como o *airbag* e o cinto de segurança podem evitar um acidente fatal? Indique os principais motivos a partir do vídeo.

II) Explique também o que pode acontecer se esses itens forem utilizados separadamente. Eles seriam suficientes ou não?

III) Um item de segurança pode ter uso opcional ou todos devem ser obrigatórios? Elabore argumentos e debata com seus colegas de turma.

### Atividade 3

#### A Física por trás do cinto de segurança e do *airbag*

##### Reexibição do vídeo 3 (instantes 21s a 58s)

I) Identifique no vídeo, aos 37 segundos, em que posição está a câmera interna do ônibus.

II) Identifique também a posição da câmera aos 47 segundos. Observe atentamente a qual ônibus pertence cada câmera.

III) No instante da colisão, identifique na câmera interna a direção e o sentido em que fica a frente do ônibus; em seguida, perceba a direção e o sentido em que as pessoas são lançadas. Esse sentido é o mesmo que fica a frente do ônibus ou é diferente?

IV) Diga também se a direção e o sentido em que as pessoas são lançadas é a mesma em que o ônibus se movia ou é diferente.

V) Discuta com seus colegas de turma qual seria a velocidade das pessoas antes e depois da colisão. Ela seria igual a do ônibus ou diferente?

**Reexibição do vídeo 4**

I) Como foi feito anteriormente, identifique no vídeo a direção e o sentido que o boneco de teste segue após a colisão. Esse sentido é o mesmo ou é diferente da direção que o carro seguia?

II) Discuta também sobre a velocidade do boneco antes e depois da colisão. Ela é a mesma ou é diferente da do carro?

III) Suponha que no mesmo vídeo não exista o painel no carro. O que você acha que aconteceria com o boneco de teste?

IV) Se possível, capture três imagens do vídeo, antes, durante e depois da colisão, e em cada imagem indique com setas feitas por você as direções que o boneco e o carro seguem.

V) Podemos dizer que tanto as pessoas do ônibus como o boneco de teste continuaram a descrever o movimento que tinham com a mesma velocidade no momento da colisão?

*Vemos, então, que objetos em movimento tendem a manter seu movimento com velocidade constante.*

Discuta com seus colegas de turma se o mesmo pode ser dito dos objetos em repouso ou parados.

Qual seria a velocidade de um objeto em repouso? Ela seria constante?

*Vemos, então, que objetos em repouso tendem a se manter em repouso, o que não deixa de ser um movimento com velocidade constante.*

Chamamos de inércia a resistência que os corpos mostram de alterar seu estado de movimento, esteja ele em movimento ou em repouso.

Entendemos, então, que *“todo corpo mantém seu estado de velocidade constante ou de repouso...”*.

**Reexibição do vídeo 1**

I) Analisando o primeiro vídeo, descreva o que você acha que deve ter ocorrido com o carro. Tente explicar como o homem pode ter ido parar no banco de trás.

II) Procure dizer qual a posição final do carro, analisando a posição final do homem e procurando outros indícios no vídeo.

III) Procure também identificar no vídeo as mudanças de direções e de sentidos no movimento e o que causa essas mudanças. Faça como anteriormente: separe três imagens e procure indicar com setas feitas por você as mudanças de movimento que o homem executou. Separe outras três imagens para ver que objetos podem ter agido sobre o homem para causar essas mudanças de movimento.

**Reexibição do vídeo 2**

I) Como foi feito anteriormente, descreva o que você acha que deve ter ocorrido com o ônibus. Procure explicar como as crianças podem ter ido parar no lado esquerdo do ônibus.

II) Identifique o que agiu sobre as crianças para que elas fossem parar na lateral esquerda do ônibus e o que as manteve naquela posição.

**Reexibição do vídeo 4**

I) Observe atentamente a direção e o sentido que o boneco de teste segue. Identifique o que agiu sobre o boneco e qual foi o resultado dessa ação.

II) Se o que agiu sobre o boneco não existisse, qual seria a trajetória que o boneco de teste seguiria?

III) Refaça os desenhos feitos anteriormente e desenhe a possível trajetória caso esses objetos que agiram no boneco não existissem. Compare com o desenho anterior.

Vemos, então, que para um corpo modificar seu movimento, alguma coisa age sobre ele.

A essa “coisa” que age sobre os corpos modificando seu movimento damos o nome de força.

Entendemos que corpos modificam seu movimento quando sofrem ação de uma força.

Concluimos que “todo corpo mantém seu estado de velocidade constante ou de repouso, a menos que seja forçado a modificar esse estado por uma força”.

#### Atividade 4: Discussão

I) Agora explique como o *airbag* e o cinto de segurança funcionam, utilizando os conceitos que você aprendeu.

II) Investigue na sua cidade se os ônibus possuem cinto de segurança.

III) Discuta com seus colegas de turma por que existe uma lei que obriga o uso da cadeirinha de segurança para crianças quando elas viajam de carro, mas não existe a mesma lei para crianças quando elas viajam de ônibus.

IV) Investigue também se isso acontece com o uso do cinto de segurança.

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NEWTON, Isaac. Óptica. Tradução, introdução e notas de André Koch Torres Assis. 1ª ed. 1ª Reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

**Autor: Paulo Henrique de Sousa Silva**

Graduado no curso de Licenciatura em Física, no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 2012.

Este trabalho é parte da monografia de conclusão de curso de Licenciatura defendida em 11 de janeiro de 2012.

Atualmente o autor leciona nas seguintes escolas: Colégio Estadual Alfredo Neves e Colégio Estadual Engenheiro Carlos Frederico de Arêa Leão.

## Capítulo 3

# O MOVIMENTO DOS SATÉLITES

*Leandro Batista Germano*

### I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

A proposta sobre o movimento dos satélites possui cinco unidades estruturadas a partir de uma sequência de ensino. Inicialmente, discutiremos aspectos sociais relativos ao tema, problematizando e contextualizando o uso dos satélites em nossa sociedade para a previsão do tempo. Em seguida, serão discutidos aspectos tecnológicos e conceitos físicos ligados ao tema e relacionados com essa tecnologia, levando em conta os impactos sobre a sociedade, produtos e benefícios.

Ao longo do capítulo serão levadas em conta as orientações contidas nos PCNs (BRASIL, 2002).

Estão entre os objetivos do trabalho: o desenvolvimento de valores vinculados aos interesses coletivos, como os de solidariedade, de fraternidade, de consciência do compromisso social, de reciprocidade, de respeito ao próximo e de generosidade.

Com isso, a proposta tem o objetivo de tornar a aprendizagem mais dinâmica e interessante para o aluno e o professor ao ser discutido o tema “Movimento dos satélites no contexto da Gravitação Universal”.

A Unidade 1 será composta por atividades de leitura e de interpretação, com os alunos preferencialmente divididos em grupos. Nessa atividade a capacidade crítica e a habilidade da leitura serão competências valorizadas.

O aluno fará uma reflexão sobre o uso dos satélites e como essa tecnologia está presente no nosso cotidiano. Nessa proposta sugere-se que o grupo trabalhe com um texto que servirá de suporte para uma discussão inicial. Assim, o objetivo dessa Unidade é relacionar a previsão do tempo com o uso dos satélites artificiais.

Na Unidade 2 sugere-se uma atividade que levará os alunos a discutir sobre a tecnologia que está associada à previsão do tempo, através do texto que retrata como a tecnologia dos satélites se desenvolveu ao longo da história da humanidade, influenciando nosso cotidiano. E assim, com base no texto apresentado e também em pesquisas em jornais, revistas ou internet, cada grupo deverá elaborar uma resposta à questão apresentada.

A Unidade 3 discutirá temas de Física relacionados com a utilização dos satélites artificiais. Para isso, inicialmente será inserida uma discussão sobre as leis da Física envolvidas no lançamento dos satélites. No segundo momento, discutiremos o que deve ser observado para manter um satélite em órbita, ou seja, as condições necessárias e as leis físicas que são utilizadas. Nessa atividade o professor poderá demonstrar um experimento que permita discutir as variáveis que são necessárias para manter um satélite em

órbita, e que pode ser visualizada no *link* a seguir: [www6.cptec.inpe.br/~grupoweb/Educacional/MACA\\_SSS/](http://www6.cptec.inpe.br/~grupoweb/Educacional/MACA_SSS/).

A Unidade 4 possui o intuito de discutir qual a importância da utilização dos satélites em nossa sociedade. Com essa discussão queremos oferecer uma reflexão sobre o que sabemos sobre os satélites e como essa tecnologia influencia diversos setores de nossa sociedade.

O objetivo da Unidade 5 é propor uma discussão em sala de aula utilizando um Grupo de Observação “versus” um Grupo de Verbalização (GO x GV). (ANNA, I. M. S. e MENEGOLLA. M, 2002). Essa discussão objetiva destacar pontos referentes ao uso da tecnologia dos satélites, seus efeitos na sociedade, principalmente em relação ao seu uso para a previsão do tempo.

Essa atividade pode seguir a orientação sugerida abaixo:

- ▶ Distribuição do texto com antecedência de uma semana para que os alunos o estudem extraclasse (a critério do(a) professor(a)).
- ▶ Divisão da turma em dois grupos, por simples sorteio, limitando-se o tamanho de cada grupo ao máximo de 15 alunos e dispondo-os em dois círculos concêntricos.
- ▶ Atribuição ao grupo interno, denominado Grupo de Verbalização (GV), da função de discutir o texto. Esse grupo será bem orientado sobre o que deve ser discutido e por quanto tempo (ficando a critério do professor o tempo de duração).
- ▶ Ao grupo externo, denominado Grupo de Observação (GO), cabe a função de apenas observar, ouvir e anotar a discussão do Grupo de Verbalização, sem que os componentes se comuniquem entre si. Os observadores serão instruídos para observarem, ouvirem e anotarem:
  - a) se os conceitos do texto discutido foram todos usados ou se houve alguma omissão;

b) se houve o emprego adequado dos conceitos;

c) se o grupo de verbalização forneceu elementos que tornaram a aprendizagem do tema significativa (se relacionaram conceitos novos com conceitos já aprendidos).

- ▶ Após a sessão de verbalização, os observadores lerão em voz alta o que anotaram, sem se permitir debates, perguntas de esclarecimento ou outras intervenções.
- ▶ Em seguida, é retomada a etapa de verbalização, com os grupos invertendo suas funções. O grupo que inicialmente estava com a função de verbalização ocupará agora a posição de observação e vice-versa.
- ▶ O professor fecha as discussões, fazendo uma síntese do que ocorreu, tanto em termos de funcionamento, como em termos conceituais (se achar necessário), e respondendo as questões formuladas.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### UNIDADE I: Texto de apoio e atividades para os alunos

#### Texto 1: Massa de ar seco dificulta a formação de nuvens e deixa tempo firme<sup>3</sup>

A quarta-feira vai ser mais um dia de tempo quente e seco na maior parte do país. E com previsão de mar agitado em uma faixa grande do litoral, entre o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Norte. Da Bahia até Pernambuco também pode ter ressaca, que é quando o mar avança com força sobre a faixa de areia.

<sup>3</sup> Fonte: Previsão do tempo – G1, *Bom dia Brasil notícias*, edição do dia 15/08/2012)

No Recife deve chover, a máxima vai ser de 27°C. Em Vitória o dia vai ficar nublado, com possibilidade de chuva a qualquer momento, e a máxima prevista é de 25°C. O tempo também vai ficar fechado no sul da Bahia e no norte do Rio de Janeiro, por causa dos ventos úmidos que sopram do mar.



Figura 1: Previsão do tempo.

Fonte: [g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2012/08/massa-de-ar-seco-dificulta-formacao-de-nuvens-e-deixa-tempo-firme.html](http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2012/08/massa-de-ar-seco-dificulta-formacao-de-nuvens-e-deixa-tempo-firme.html)

No Sul, temporais podem atingir as cidades gaúchas que ficam perto da fronteira com a Argentina e o Uruguai. Já em Curitiba, o sol vai predominar e a temperatura vai subir até 24°C.

Mais um dia ensolarado na maioria dos Estados nesta quarta (15). A massa de ar seco ainda dificulta a formação de nuvens de chuva, por isso a previsão é de tempo firme. A baixa umidade do ar pode deixar em estado de atenção toda a região entre o noroeste do Paraná, o sul do Maranhão e Mato Grosso.

Mas também tem previsão de chuva no sul e no oeste do Rio Grande do Sul. Do oeste do Acre ao norte do Maranhão e do litoral do Rio Grande do Norte até o do Rio de Janeiro. Máxima de 22°C em Belo Horizonte e 35°C em Teresina.

### Atividade 1:

Inicialmente, a proposta é discutir as relações entre a previsão do tempo e o uso dos satélites artificiais. Para isso, podemos dividir a classe em grupos.

Nessa atividade, cada grupo fará uma observação do tempo e do clima e, desse modo, fará sua previsão do tempo. Em seguida, os grupos, através de uma pesquisa no site *Clima Tempo*, farão a previsão do tempo para seu Estado ou cidade, utilizando as imagens vindas dos satélites.

Após as observações, cada grupo discutirá qual das duas observações lhe forneceu o melhor resultado para suas previsões, justificando suas respostas por escrito.

## UNIDADE II: A tecnologia dos satélites – texto de apoio e atividades para os alunos

### Texto 2: Os satélites e seus subsistemas<sup>4</sup>

Durante a Segunda Guerra Mundial, a Alemanha desenvolveu foguetes de propelentes líquidos para transportar “bombas voadoras”, chamados V2. Em 1943, o lançamento de foguetes V2 foi testado na Polônia. Depois da guerra, a tecnologia bélica criada pela Alemanha foi usada por EUA e URSS na exploração do espaço. (Wernher Von Braun e outros engenheiros de foguetes alemães, por exemplo, dirigiram-se aos EUA depois da rendição de seu país, onde continuaram desenvolvendo suas pesquisas.)

<sup>4</sup> fonte: adaptado a partir de os satélites e seus subsistemas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Agência Espacial Brasileira – INPE/AEB)

Em 1949, desenvolvido pelos EUA, o foguete de dois estágios V-2/WAC atingiu a altitude recorde de 393 quilômetros. A descoberta dos foguetes de estágios significou um avanço na pesquisa espacial. Os cientistas descobriram que, para ir mais longe, o foguete deveria ter várias partes e, à medida que ia acabando o combustível de uma parte, ele se desprendia do conjunto, tornando-o mais leve.

Em 1955, foram iniciadas as obras do Cosmódromo de Baikonur, na União Soviética. Trata-se da base de lançamento espacial mais importante da antiga URSS. Baikonur está a 2.100 km ao sudeste de Moscou. No começo, a base lançava grandes mísseis balísticos intercontinentais que depois cederam lugar aos foguetes espaciais.

Em 1957, o Sputnik, primeiro satélite artificial da Terra, foi lançado pela URSS, dando início à corrida espacial. No mesmo ano, o Sputnik 2 entrou na órbita terrestre com a cadela Laika, primeiro ser vivo a conhecer o espaço. Para contra-atacar, os norte-americanos tentaram lançar um satélite artificial ainda em 1957, mas a tentativa foi frustrada.

Em 31 de janeiro de 1958, os EUA lançaram seu primeiro satélite artificial, o Explorer 1. Depois do sucesso do lançamento da nave russa Sputnik 1, os americanos decidiram lançar seu próprio satélite artificial, contando com a perícia do respeitado cientista alemão Wernher Von Braun. A NASA projetou, construiu e lançou o Explorer 1 em menos de três meses!

Em 19 de agosto de 1960, dois cães viajaram para o espaço a bordo da nave Sputnik 5. Trata-se dos primeiros seres a voltarem vivos de um voo orbital.

Nesse mesmo ano, os EUA lançaram o primeiro satélite meteorológico, denominado Tiros 1, um satélite de navegação (Transit 1B) e um satélite passivo de comunicações (Echo 1).

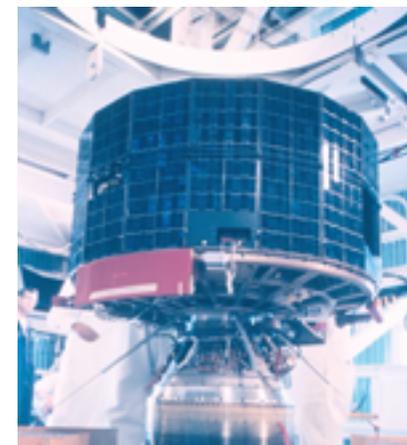


Figura 2: Satélite Tiros 1.

Fonte: [www.photolib.noaa.gov/bigs/spac0071.jpg](http://www.photolib.noaa.gov/bigs/spac0071.jpg)

Hoje em dia, o envio de satélites para a previsão do tempo, localização de pontos na superfície da Terra e transmissão de sinais de TV, rádio e telefonia representam grandes investimentos realizados pelo poder público e por empresas privadas.

Os satélites possuem duas partes principais: a carga útil e a plataforma.

A carga útil é o conjunto de elementos e equipamentos necessários para cumprir a missão. E são antenas, sensores e transmissores.

A plataforma fornece à carga útil todos os serviços necessários ao seu funcionamento.

Os subsistemas da plataforma são: estrutura; suprimento de potência; controle de órbita e atitude (distância da superfície da Terra até o satélite); subsistema de propulsão; subsistemas de comunicações e serviços; gestão de bordo; controle térmico.

As funções da plataforma são executadas pelos diversos subsistemas que a compõem. Eles são determinados pelo tipo de carga útil.

Suas principais funções são: suporte estrutural à montagem de equipamentos; suprimento de energia à carga útil; controle de órbita e atitude; propulsão; comunicações de serviço; gestão de dados de bordo e controle térmico.

Como sabemos, os satélites são veículos que carregam cargas úteis, que podem ser de telecomunicações ou de sensoriamento remoto.

Nos satélites de sensoriamento remoto, obtêm-se informações usando sensores, sem que haja contato físico com o “alvo” observado.

Então, quando se fala de um satélite de sensoriamento remoto, estamos falando de sensores que estão em um satélite que recolhem dados para um estudo.

Através de sensores ótico-eletrônicos instalados no satélite, coletam-se informações sobre grandes extensões da superfície observada, o que ainda traz a vantagem de se ter uma visão geral e integrada dos diversos eventos simultâneos.

As informações adquiridas pelo satélite são posteriormente retransmitidas para a Terra na forma de sinais eletrônicos. Esses sinais são captados por antenas parabólicas programadas para rastrear esse tipo de satélite.

Esses sinais serão então processados por computadores e transformados em dados na forma de gráficos, tabelas ou imagens e passados aos usuários, que serão utilizados, principalmente as imagens, no estudo dos recursos naturais e do meio ambiente.

As imagens obtidas pelos satélites de sensoriamento remoto são usadas por profissionais de inúmeras áreas, dentre elas a Meteorologia (previsão do tempo, acompanhamento de mudanças atmosféricas, controle de poluentes, medição do efeito estufa e do buraco na camada de ozônio).

## Atividade 2:

Ao longo da história da humanidade, o monitoramento das atividades da atmosfera terrestre ganhou grande importância, pois as condições do tempo e do clima podem afetar diretamente nossa sociedade. Desse modo, as informações vindas dos satélites meteorológicos são utilizadas por diversos profissionais de vários setores que compõem a sociedade a fim de que se possam estudar tais fenômenos.

Indique alguns setores da sociedade que são diretamente afetados pelas condições do tempo e discuta com seus colegas de grupo o que podemos exigir de nossos governantes, no sentido de prevenir ou minimizar esses acontecimentos, com base nos aspectos tecnológicos apresentados.

## UNIDADE III: A Física que está por detrás da utilização dos satélites – textos de apoio e atividades para os alunos

### Texto 3: Lançamento de satélites

É comum vermos nos noticiários que a Agência Espacial Americana (NASA) lançou uma sonda para estudar os planetas do sistema solar, ou que colocou satélites em órbitas na Terra e que lançou ônibus espaciais para funções diversas.

Embora só no século XX tenha sido possível colocar um objeto em órbita ao redor da Terra, no século XVII, Newton já tinha uma ideia clara de como isso poderia ser feito. Entretanto, não dispunha de uma tecnologia possível para realizar tal façanha.

Para se colocar satélites em órbita, eles devem ser levados verticalmente por foguetes, até que atinjam uma determinada velocidade e, nessas condições, o corpo não retornaria mais para a Terra.

A fim de entender esse valor de velocidade que necessita ter uma carga útil para ser erguida contra a gravidade, devemos tratar o problema do ponto de vista da energia.

Um corpo a uma distância muito grande da Terra tem o valor do seu peso diferente daquele medido perto da superfície terrestre, pois o valor da aceleração da gravidade varia com a altitude.

A expressão geral que nos permite calcular a energia potencial em um ponto qualquer em relação ao nosso planeta é:

$$E_p = - G M.m/r$$

As constantes dessa expressão estão indicadas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Constantes da energia potencial

GRANDEZAS FÍSICAS	SÍMBOLO	VALOR
Constante Universal da Gravitação	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}$
Massa da Terra	M	$6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$
Raio Médio da Terra	R	$6,37 \times 10^6 \text{ m}$

Nesse caso, m é massa do corpo e r é o raio médio da Terra ( $6,37 \times 10^6 \text{ m}$ ) somado a uma altura h em relação à superfície da Terra.

Considere um satélite de massa m próximo à superfície da Terra, e desprezando-se o efeito do ar, encontraremos a expressão da velocidade de lançamento do satélite para que ele possa escapar (não totalmente) do campo gravitacional da Terra. Observe que, “no infinito” (quando r tende ao infinito), a energia potencial  $E_p$  é nula e, como a energia cinética  $E_{\text{CIN}}$  não pode ser

negativa, concluímos que, para que um corpo consiga chegar “ao infinito”, sua energia mecânica total  $E_M$  não deve ser negativa, e sua velocidade, ao chegar a esse ponto, deve ser igual a zero. Desse modo temos:

$$E_{\text{co}} + E_{\text{po}} = E_{\text{cf}} + E_{\text{pf}}$$

$E_{\text{co}}$  = Energia cinética inicial

$E_{\text{po}}$  = Energia potencial inicial

$E_{\text{cf}}$  = Energia cinética final

$E_{\text{pf}}$  = Energia potencial final

A  $E_c$  é a energia cinética dada por:

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

onde:

m = Massa do corpo

v = Velocidade do corpo

Para um corpo no infinito temos:

$$E_{\text{pf}} = 0 \text{ e } E_{\text{cf}} = 0$$

Nessas condições, então, teremos, sendo R o raio da Terra:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R} = 0$$

De onde obtemos:

$$\Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{G \cdot M \cdot m}{R}$$

Isolando a velocidade ao quadrado e simplificando as massas ( $m$ ), temos:

$$v^2 = \frac{2GM}{R}$$

Extraindo a raiz quadrada:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Substituindo os valores das constantes  $G$ ,  $M$  e  $R$  indicados na tabela, na expressão obtemos que velocidade  $v$  é igual a 11,2 km/s.

Logo, se lançarmos uma carga útil da superfície terrestre com essa velocidade, ele não retornará mais, pois atingirá uma posição muito afastada do nosso planeta, onde a atração gravitacional é praticamente desprezível.

### Atividade 3:

Após a apresentação do experimento, apresentado no site [www6.cptec.inpe.br/~grupoweb/Educacional/MACA\\_SSS/](http://www6.cptec.inpe.br/~grupoweb/Educacional/MACA_SSS/), intitulado “Como um satélite se mantém em órbita”, os grupos devem tentar reproduzi-lo, discutir os aspectos físicos presentes no experimento e responder as seguintes questões relacionadas a ele:

- I. O que deve ser feito para que a água contida no balde não transborde durante o experimento?
- II. O que aconteceria se o balde atingisse sua velocidade de escape?

### Texto 4: Movimento dos Satélites

Um satélite artificial é lançado da superfície da Terra e atinge uma altura, em relação ao solo, acima da atmosfera terrestre, aproximadamente livre de toda resistência aerodinâmica. Ao atingir essa altura, por meio de foguetes, é lançado horizontalmente até atingir uma velocidade ( $V$ ).

Como a Terra exerce sobre o satélite uma força de atração, a Terra faz com que a velocidade ( $V$ ) do satélite se altere, fazendo-o descrever uma trajetória curvilínea.

Se não existisse tal força, quando o satélite fosse lançado horizontalmente, ele seguiria em linha reta e, dessa maneira, nunca entraria em órbita ao redor da Terra.

Para que o satélite trace uma trajetória circular ao redor da Terra, isso dependerá do valor da velocidade horizontal com que esse satélite for lançado. Isso é necessário porque a força de atração da Terra proporcionará uma força centrípeta que favorecerá a trajetória descrita.

Desse modo, podemos calcular a velocidade horizontal necessária para que um satélite entre em órbita circular ao redor do centro da Terra, considerando o raio da órbita como  $r$  e sendo esse dado por:

$$r = R + h$$

onde  $R$  é o raio médio da Terra e  $h$  é a altura do satélite em relação à superfície terrestre. A força que a Terra exerce sobre o satélite é dada por:

$$F = G \frac{Mm}{r^2},$$

sendo  $M$  a massa da Terra e  $m$  a massa do satélite.

Como essa força desempenhará o papel de força centrípeta, ela manterá o satélite em órbita e seu valor pode ser obtido a partir da conhecida expressão:

Podemos igualar as duas expressões:

$$F = \frac{m v^2}{r}$$

Obtemos, então, a expressão da velocidade, simplificando as massas  $m$  e o raio  $r$ :

$$\frac{m v^2}{r} = G \frac{Mm}{r^2}$$

Observe que a velocidade não depende da massa do satélite e, quanto maior sua altitude, menor será sua velocidade.

$$v = \frac{\sqrt{GM}}{r}$$

### Atividade 3:

Após os grupos exporem suas reflexões e responderem as questões anteriores, devem responder também as seguintes questões:

- I. O que aconteceria se um satélite artificial ao redor da Terra estivesse sobre a influência da resistência do ar?
- II. Por que é que os satélites não caem na Terra?
- III. Qual a natureza da força que mantém um satélite em órbita?

## UNIDADE IV. Como os satélites influenciam nossa sociedade – texto de apoio e atividades para os alunos

### Texto 5: Dilma anuncia investimentos no programa espacial brasileiro<sup>5</sup>

A presidente Dilma Rousseff anunciou nessa terça-feira que o governo fará investimentos para fortalecer o programa espacial brasileiro. De acordo com ela, o Brasil não pode renunciar sua meta de construir, lançar e operar satélites.

A presidente afirmou que o investimento será por meio da contratação de profissionais para a AEB (Agência Espacial Brasileira) e para os órgãos executores desse programa. Haverá também injeção de recursos.

Dilma negou que o Brasil tenha suspenso seu programa espacial após a explosão ocorrida em 2003, que destruiu parte da base espacial de Alcântara, no Maranhão, e provocou a morte de 21 cientistas.

A presidente disse que a meta é ter uns programas espaciais autônomos, capazes de atender às demandas da sociedade brasileira e de fortalecer a soberania do país.

Para Dilma, o programa espacial é estratégico para o país, pois o Brasil necessita de satélites para vigiar o território, auxiliar na previsão do tempo e prevenir os danos causados pelos desastres naturais.

Ela acrescentou que os satélites também são estratégicos para o país em áreas como defesas, comunicações e seguranças hídrica e alimentar.

<sup>5</sup> Fonte: *Folha de São Paulo online*, 22 de março de 2011. Autor: DA EFE.. <http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/892304-dilma-anuncia-investimentos-no-programa-espacial-brasileiro.shtml>

## FOGUETE NACIONAL

Além do desenvolvimento e da operação de satélites, que o Brasil já alcançou graças a um acordo com a China, o programa espacial brasileiro prevê o desenvolvimento de um foguete próprio para transportar os satélites.

Dilma anunciou recursos para o programa um dia depois de o ministro de Ciência e Tecnologia, Aloizio Mercadante, admitir a possibilidade de negociar um novo acordo de cooperação para lançar foguetes americanos a partir da base de Alcântara.

Em 2000, Brasil e EUA assinaram um acordo para permitir à Nasa (Agência Espacial Americana) o uso da base espacial brasileira, o qual não foi ratificado pelo Congresso devido à oposição do PT.

Na ocasião, o partido alegou que o acordo violava a soberania do Brasil por não permitir a participação de técnicos brasileiros nos lançamentos americanos.

Mercadante admitiu que, após a assinatura no sábado de um acordo de cooperação espacial entre os dois países durante a visita ao Brasil do presidente americano, Barack Obama, é possível negociar um novo tratado para compartilhar a base de Alcântara sem os mecanismos vetados no passado.

### Atividade 4:

**Após a leitura do texto, responda a seguinte questão:**

Hoje, o Brasil está capacitado para aplicar as tecnologias geradas pelas atividades espaciais em áreas de grande impacto econômico e social. Pesquise e discuta sobre qual(ais) linha(s) de pesquisa(s) deve(em) ser priorizada(s) em nosso país. Justifique sua resposta.

## UNIDADE V: A discussão do problema original

Essa atividade envolve um debate entre os estudantes, com a turma organizada em grupos, e segue a dinâmica Grupo de Observação “versus” Grupo de Verbalização (GO x GV).

*Texto de apoio para a atividade dos alunos no GV x GO*

### **Texto 6: Lançamento do primeiro foguete binacional Brasil-Ucrânia deve atrasar para 2014<sup>6</sup>**

A novela da parceria espacial Brasil-Ucrânia deve ter mais capítulos antes do final feliz. O lançamento do foguete binacional Cyclone-4 saindo da base aérea de Alcântara, a cerca de 400 km de carro da capital maranhense, São Luís, deve atrasar para 2014.

A informação é de José Raimundo Braga Coelho, presidente da AEB (Agência Espacial Brasileira) desde maio desse ano.

Pela primeira vez em um grande evento científico como chefe da agência, Coelho disse na reunião da SBPC (Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência), em São Luís do Maranhão, que a construção da área de lançamento do Cyclone-4 não deve ficar pronta antes de 2014.

Esse espaço está sendo feito pela empresa binacional ACS (Alcântara Cyclone Space), criada em 2007 pelo Brasil e pela Ucrânia.

O lançamento do Cyclone-4 deveria acontecer até novembro de 2013, de acordo com um termo assinado no ano passado pelo ex-ministro de Ciência Aloizio Mercadante.

<sup>6</sup> Fonte: *Folha de São Paulo online*, 24 de julho de 2012. Autora: Sabine Righetti.)

“Mas andando pela obra e conversando com o pessoal que trabalha nas construções, vi que o cronograma deve atrasar”, disse Coelho.

Conforme a *Folha* apurou anteriormente, a ACS não paga as empreiteiras que executam as obras desde dezembro do ano passado.

“Há muitas empresas envolvidas, muitos processos de licitação. É uma logística complicada”, disse Coelho.

## LANÇAMENTO NACIONAL

O espaço de lançamento da ACS fica encravado nos oito mil hectares da base aérea de Alcântara.

Nesse mesmo terreno está sendo construída outra torre para o lançamento do foguete brasileiro VLM (Veículo Lançador de Satélites).

O primeiro teste de segurança dessa nova torre, diz Coelho, foi feito com sucesso há duas semanas. Mais dois testes devem ser feitos até que o VLM seja lançado, o que deve acontecer em 2013.

A torre brasileira antiga foi destruída em um incêndio durante o lançamento do foguete VLS em 2003. O incidente matou 21 pessoas e afetou a credibilidade do programa espacial brasileiro.

Para Coelho, a chance de haver outro acidente agora é “praticamente nula”.

“Nós contratamos especialistas russos para fazer uma varredura no nosso programa de satélites. A torre antiga não tinha rota de fuga. Agora temos.”

## QUILOMBOLAS

Os conflitos com a população local de Alcântara, remanescente de quilombos, também têm atrasado o cronograma do lançamento de foguetes em Alcântara.

A região onde está instalada a base era habitada por famílias quilombolas que viviam basicamente da pesca. Desde a década de 1980 essas famílias têm sido deslocadas para áreas agrícolas longe do mar.

“Eu sei que os quilombolas têm direitos garantidos por lei [como direito à terra]. Mas é preciso pensar nos benefícios que a sociedade como um todo terá com o programa espacial.”

“Eu sou maranhense e tenho discutido bastante com as comunidades locais. Ontem passei três horas com eles. No meio da reunião a luz acabou e eu continuei discutindo.”

## SETOR PRIVADO

Coelho disse ainda na reunião da SBPC que a dependência brasileira da indústria estrangeira mina o setor espacial do país.

“Nenhuma peça que voa no espaço é fabricada no Brasil. Temos de importar cada pedacinho para fazer um satélite nacional.”

Coelho deixou o Parque Tecnológico de São José dos Campos em maio para assumir a agência a pedido do ministro Marco Antonio Raupp (Ciência), que já chefiou a própria agência e o Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

“Isso foi quase uma loucura. As coisas em Brasília não são fáceis.”

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANNA, I. M. S.; MENEGOLLA, M. *Didática Aprender a ensinar*. 7ª ed. São Paulo: Loyola, 2002.

## SITES

**Sites:** [www.climatempo.com.br/](http://www.climatempo.com.br/)

[www.cptec.inpe.br/](http://www.cptec.inpe.br/)

**Texto 1:** [g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2012/08/massa-de-ar-seco-dificulta-formacao-de-nuvens-e-deixa-tempo-firme.html](http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2012/08/massa-de-ar-seco-dificulta-formacao-de-nuvens-e-deixa-tempo-firme.html).

**Texto 5:** [www1.folha.uol.com.br/ciencia/892304-dilma-anuncia-investimentos-no-programa-espacial-brasileiro.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/892304-dilma-anuncia-investimentos-no-programa-espacial-brasileiro.shtml).

**Texto 6:** [www1.folha.uol.com.br/ciencia/1125030-lancamento-do-primeiro-foguete-binacional-brasil-ucrania-deve-atrasar-para-2014.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/1125030-lancamento-do-primeiro-foguete-binacional-brasil-ucrania-deve-atrasar-para-2014.shtml).

**Autor:** Leandro Batista Germano

Este trabalho é parte da monografia de final de curso de Licenciatura, defendida em 27 de março de 2012 no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, com o título *Movimento dos Satélites – uma abordagem para o ensino de Física com enfoque CTS*.

Atualmente o autor leciona nas seguintes escolas: Ciep-201 Brizolão Aarão Steinbruch (SEEDUC-RJ) e Sistema Elite de Ensino – RJ.

## Capítulo 4

ÁGUA DE LASTRO:  
UM PROBLEMA DE  
HIDROSTÁTICA

*Vitor Cossich de Holanda Sales*

## INTRODUÇÃO

Com este trabalho espera-se que o estudante desenvolva a compreensão acerca de alguns fenômenos sobre equilíbrio de corpos nos líquidos, contribuindo para a construção do conhecimento sobre a Hidrostática.

Espera-se que o aluno compreenda as diversas aplicações dos conceitos trabalhados em sua vida cotidiana, além da importância da Hidrostática para a sociedade e para os avanços tecnológicos.

As atividades aqui propostas dividem-se em etapas e utilizam problemas típicos de um Laboratório Aberto (CARRASCO, 1991). O desenvolvimento das atividades foi estruturado com base na sequência proposta nos principais livros didáticos utilizados no ensino médio.

O trabalho é iniciado com a leitura e a discussão sobre um texto em que é abordado o tema “água de lastro”. Esse texto possibilita discussões acerca dos problemas que podem ser provocados pelo uso da água de lastro para o equilíbrio de embarcações – impactos ambientais –, bem como debater sugestões para evitá-los.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

O estudo da Hidrostática se apoia em dois conceitos: pressão e empuxo. Assim sendo, as atividades são propostas por meio de uma sequência de atividades para cada parte.

Para dar início às atividades, será discutido o tema “água de lastro” com a turma, através da leitura de um texto com os alunos. A ideia principal é levantar a discussão sobre o porquê de se armazenar água dentro do navio quando ele está descarregado. Espera-se obter a resposta a partir do estudo da Hidrostática.

*As atividades são realizadas por meio de desafios feitos à turma.*

### Atividade 1: Pressão

#### 1.1. Apresentação do desafio

Beber um leite de caixinha através do canudo sem, no entanto, sugar o líquido através dele.

Beber um líquido utilizando dois canudos, um dentro e um fora do copo (ou utilizando um canudo furado). Ver Figura 1 adiante.

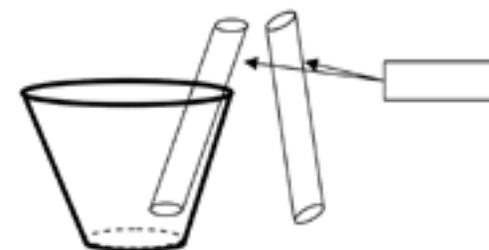


Figura 1. O líquido deve ser bebido através do canudo dentro do copo, mas ambos os canudos devem estar na boca.

#### 1.2. Tópicos a serem abordados

Dentro do estudo da Hidrostática, os tópicos de Física a serem desenvolvidos nessa atividade são:

- ▶ Pressão
- ▶ Pressão Atmosférica
- ▶ Vasos Comunicantes

#### 1.3. Conceitos a serem trabalhados

Essa atividade pretende introduzir tópicos que estão apoiados, basicamente, em três conceitos que serão utilizados e desenvolvidos ao longo da atividade:

- ▶ Força

- ▶ Densidade
- ▶ Teoria Cinética dos Gases

#### 1.4. Fenômenos a serem estudados

Dentre as diversas possibilidades de observações a se fazer com o material utilizado, podemos citar:

- ▶ Pressão exercida por um corpo/força em determinada área
- ▶ Existência do ar
- ▶ Influência do ar nos líquidos
- ▶ Pressão exercida por líquidos e gases
- ▶ Relação entre pressão e volume de um gás em um sistema hermeticamente fechado

#### 1.5. Desenvolvimento da atividade

Essa atividade se divide em etapas, com o objetivo de introduzir os diversos conceitos.

Tais etapas são importantes para ajudar os alunos a iniciarem a discussão, levantarem as variáveis relevantes e fazerem hipóteses. São elas:

I. Em primeiro lugar, o professor poderá solicitar aos alunos que segurem um lápis apoiando o polegar na parte de trás e o mínimo na ponta, apertando suavemente. Espera-se que os alunos, ao fazê-lo, digam que no dedo mínimo (ponta do lápis) é onde sentem mais dor, e justificativa esperada é: *“porque a força é maior”*. Nesse momento, o professor pode arguir sobre as Leis de Newton, tentando fa-

zer que os alunos percebam o equívoco nessa justificativa e ajudá-los a chegar à ideia de que a diferença está na área de aplicação da força. O professor pode utilizar as respostas dos alunos para construir o conceito de pressão (força por unidade de área).

II. Na segunda etapa, o conceito de pressão é aplicado ao estudo sobre gases, utilizando uma seringa com o êmbolo na marcação “zero”, isto é, no início, o professor poderá indagar à turma o que acontecerá se ele tampar a saída da seringa e puxar o êmbolo, soltando-o em seguida, e por quê. Após as respostas, poderá ser feita a mesma pergunta para o caso contrário, ou seja, o que ocorrerá se, com o êmbolo na última marcação da seringa, isto é, no fim, ele empurrar o êmbolo. A ideia é esperar que os alunos utilizem a Teoria Cinética dos Gases aplicada ao ar dentro da seringa. Entretanto, podem surgir ideias alternativas, como: *“fazemos um vácuo; então, como não pode haver vácuo, o êmbolo volta”*. O professor, então, pode puxar o êmbolo, deixando entrar um pouco de ar, e repetir a pergunta, puxando-o novamente. Uma possível resposta seria: *“porque fazemos uma pressão para tirar o ar da seringa e depois paramos; então, o ar entra de novo”*, ao que o professor pode perguntar: *“por onde o ar entra e sai, se a seringa é hermeticamente fechada?”*. Em uma terceira, e provavelmente última tentativa, um aluno poderia afirmar: *“porque não há nada dentro da seringa; logo, não há pressão interna, só externa, que é a pressão do ar (atmosférica)”*.

III. Em seguida, poderá ser revisado com a turma o conceito de densidade, através de um experimento demonstrativo da mistura de determinada quantidade de água com outra de óleo. O objetivo dessa fase é que os alunos observem que o óleo permanece acima da água por ser menos denso que ela. Essa etapa é realizada, portanto, pelo professor. Caso algum aluno sugira que o óleo fique por cima por ser mais leve, sugere-se aumentar a quantidade de óleo

de tal maneira que a quantidade dele seja suficientemente maior que a de água, para que o aluno possa colocar em prática o conceito de densidade.

IV. Na quarta etapa, o professor poderá colocar água em um copo e sugá-la através de um canudo até que a turma possa ver a subida do líquido. Em seguida, poderá indagar à turma como se dá o processo de sucção do líquido, isto é, como acontece e a que se deve a subida do líquido através do canudo. Diante das respostas, o professor poderá mediar as explicações dos alunos, questionando sempre o porquê do fenômeno, sem, no entanto, dar nenhuma resposta.

A fim de melhorar a discussão, o professor poderá mostrar canudos diferentes, em tamanho e largura, questionando sempre à turma se a mudança de canudo provocará alguma diferença na sucção do líquido.

Essa é, provavelmente, a etapa mais longa do processo. A primeira justificativa esperada para o líquido subir é *“porque fazemos força nele”*, ao que o professor poderá argumentar que não há contato com o líquido.

Caso algum aluno afirme que *o copo está sendo apertado*, o professor, naturalmente, poderá lembrá-lo de que o copo é indeformável, ou poderá utilizar outro copo que seja deformável, mostrando ao aluno que não adianta apertar o copo.

Outra justificativa pode ser: *“porque sugamos o ar e o líquido ocupa o lugar dele, uma vez que não deve haver espaços vazios (vácuo)”*. Nesse caso, o professor pode insistir na pergunta: *“por que o líquido sobe?”*.

Espera-se que algum aluno lembre-se da segunda etapa, fazendo uma analogia do ar dentro da boca com o ar dentro da seringa.

V. Na quinta e última etapa, o professor poderá utilizar, em um copo, água e, em outro, óleo. Com um canudo em

cada copo, ele poderá sugar (sem beber), ao mesmo tempo, água e óleo. Porém, antes de fazê-lo, poderá indagar à turma se os líquidos atingirão a mesma altura, aguardando as respostas, incentivando a discussão e a defesa das ideias e buscando promover a construção da explicação para o fenômeno a partir das suposições dos alunos.

Provavelmente algum aluno fará a hipótese de que *“ambos atingirão a mesma altura, uma vez que estão sendo sugados ao mesmo tempo e devem ocupar o mesmo espaço, que antes era ocupado pelo ar”*. O professor, então, pode indagar: *“mas o ar não ocupa o espaço todo?”*. Espera-se que o aluno utilize a ideia de que ter tirado parte do ar de dentro do canudo fez diminuir a pressão interna de tal forma que os líquidos subirão até a pressão interna entrar em equilíbrio com a externa. Nesse caso, o professor poderá perguntar se não existe entre eles nenhuma característica a ser levada em consideração que será relevante para a pressão exercida pelo líquido. Então, é esperado ouvir do aluno *“a densidade”*, e que ele conclua que o menos denso (no caso, o óleo) subirá mais.

Nesse ponto da atividade, já se espera ter surgido a ideia sobre a influência do ar atmosférico e a relação entre pressão e volume ocupado por um gás. O professor pode, então, solicitar à turma que responda as perguntas feitas no Material para o Aluno.

Em seguida, os desafios descritos no Material para o Aluno poderão ser apresentados. Eles serão informados de que a solução desses desafios deverá acompanhar a respectiva explicação. Uma vez que eles não configuram um problema fechado, espera-se estimular a curiosidade científica dos alunos e incentivá-los na busca por explicações coerentes com o fenômeno observado e que contenham a linguagem adequada.

Para esclarecer a turma sobre os objetivos da atividade, o professor poderá apresentar o material a ser utilizado e, no caso do copo com dois canudos, realizar uma demonstração de como o líquido deve ser bebido, de acordo com a Figura 1.

### 1.6. Proposta de desenvolvimento pelos alunos

Uma vez que essa atividade é programada para uma turma relativamente pequena (em torno de 20 alunos), eles podem ser separados em grupos de quatro, cada um com seu material experimental, para fazerem as tentativas.

Enquanto cada grupo discute, o professor pode circular pela sala, escutando as falas e, de vez em quando, participando e estimulando a troca de ideias.

Ao longo das discussões em cada grupo, um aluno poderá ficar responsável por anotar as principais ideias que cada colega está defendendo e os pontos positivos e negativos que o grupo perceber em cada afirmação. Também serão entregues aos grupos papéis a fim de que os estudantes possam organizar esquemas que complementem suas explicações. Ao fazer tais esquemas, estima-se que os alunos testarão hipóteses, confrontarão ideias e encontrarão a melhor maneira de trabalhar as variáveis envolvidas, chegando, no final, a uma conclusão.

No fim, propõe-se que cada grupo seja representado por um componente, seu relator, que ficará responsável por apresentar para a turma, em linhas gerais, como o trabalho foi conduzido e resolvido pelo grupo, e a que conclusão ele e seus colegas chegaram para explicar o fenômeno.

### Atividade 2: Empuxo

Nessa parte da proposta será desenvolvido o Princípio de Arquimedes, também conhecido como Empuxo.

#### 2.1. Conceitos a serem trabalhados

Nesse momento trabalha-se, basicamente, com conceitos já estudados anteriormente:

- ▶ Força
- ▶ Densidade
- ▶ Volume

### 2.2. Fenômeno a ser estudado

Força exercida por fluidos em corpos neles imersos.

### 2.3. Desenvolvimento da atividade

Nessa atividade também são lançados dois desafios à turma, mas, dessa vez, no início:

Equilibrar o ludião (Figura 2), explicando o fenômeno.

Explicar o funcionamento básico de um submarino, isto é, como é possível variar sua profundidade.



O professor pode mostrá-lo à turma a qualquer profundidade, mas sem mostrar como o faz.

Figura 2. Ludião.

As etapas a serem realizadas são:

- I. Inicialmente o professor pode solicitar à turma que discuta em grupos as perguntas descritas no Material para o Aluno.

Para ilustrar a situação, o professor poderá demonstrar o funcionamento do ludião à turma, por meio do desafio de mantê-lo equilibrado à meia altura, acompanhado da explicação do fenômeno.

Dentre as possibilidades de respostas dos alunos para justificar a flutuabilidade dos barcos espera-se que apareçam inseridas nas respostas referências ao formato do barco e ao fato de haver partes ocas. Caso tais sugestões não se façam presentes, o professor poderá solicitar à turma que pense, por exemplo, nas condições necessárias para um balde afundar, ou até mesmo um barco.

Com relação ao submarino, imaginando que pelo menos um aluno já o tenha visto, mesmo que na televisão, submergindo, espera-se que haja nas respostas referência à entrada e saída de ar.

II. Em uma segunda etapa, o professor poderá apresentar oralmente o problema de Arquimedes e a coroa, contando o desafio que, segundo a história, foi apresentado para Arquimedes. Os alunos, dentro de seus grupos, poderão receber a incumbência de encontrar uma solução para o problema. Para a discussão entre os alunos, o professor poderá destinar em torno de 15 minutos para circular entre os grupos, atento aos debates. Cada grupo, no final, apresentará a solução, em uma descrição sucinta, justificando o procedimento adotado, fundamentado em conceitos físicos adequados, e apresentando claramente quais são as variáveis envolvidas.

Nessa etapa diversas explicações podem aparecer, sem que os alunos pensem nas impossibilidades históricas. É necessário estar atento às argumentações a fim de solicitar que eles busquem pensar na solução possível para a época – dois séculos antes de Cristo.

Caso algum aluno, por já conhecer a história, proponha uma solução em que se utilize a água, é interessante sugerir algo como “qual seria SUA solução?”, com a finalidade de estimular a criatividade e o pensamento científico.

III. Uma vez eleita a melhor solução, na terceira etapa do processo o professor poderá exibir o vídeo “Flutuação Dos Corpos”<sup>7</sup>, do Laboratório Didático do Instituto de Física da UFRJ – LADIF para a turma. Nesse vídeo, o fenômeno abordado é investigado através de experimentos sistematizados, em que se analisam as variáveis envolvidas. Para melhor aproveitamento do vídeo, em momentos específicos o professor pode interromper a apresentação para escutar da turma suas hipóteses para as indagações feitas no vídeo. As perguntas propostas em cada pausa e as possíveis respostas dos alunos serão discutidas mais adiante. O vídeo não será apresentado integralmente, mas, sim, interrompido aos 11min8s, evitando a exibição da conclusão, deixando-a para os alunos.

O ideal em cada pausa na apresentação é deixar os alunos falarem, argumentarem, apresentarem suas respostas para cada indagação. Na Tabela a seguir são mostrados os momentos que se sugere pausar o vídeo, com um breve comentário sobre o que o vídeo apresenta nesses momentos e as respectivas respostas esperadas pelos alunos:

Tabela 1 – Descrição do vídeo

Instante	Evento mostrado	O que se espera dos alunos
0min29s	É mostrada uma bolinha de isopor boiando sobre a água e outra de ferro afundando. O narrador pergunta: “o que faz a bolinha de isopor flutuar e a de ferro afundar?”.	Uma provável resposta é o fato de a bolinha de ferro ser mais pesada que a de isopor. Espera-se que a turma sugira, também, a densidade da bolinha de ferro.

<sup>7</sup> Disponível em: [omnis.if.ufrj.br/~ladif/videos5.htm](http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/videos5.htm). Acesso em: 16 ago. 2012.

## CONTINUAÇÃO

Instante	Evento mostrado	O que se espera dos alunos
1min31s	O narrador pergunta: "se a água empurra a bolinha de ferro para cima, por que ela afunda?".	Certamente algum aluno fará a sugestão de que o módulo do peso da bolinha é maior que o módulo do empuxo, uma vez que, para essa aula, já deve ter sido desenvolvido o tema "Leis de Newton".
2min17s	É mostrado um experimento em que a bolinha de ferro, presa a um fio que, por sua vez, está preso a um dinamômetro, será submergida na água.	O professor pode perguntar à turma o que acontecerá com a leitura do dinamômetro ao submergir a bolinha, ao que se espera que a turma responda que diminuirá.
3min13s	Até esse momento do vídeo o narrador já discutiu o empuxo, mostrando que, para a bolinha, essa força é menor do que seu peso e, por isso, ela afunda. Em seguida, precisamente aos 3min13s, surge a imagem de um barco em uma marina, quando o narrador afirma: "como o barco flutua, necessariamente a intensidade da força empuxo é igual ao módulo do seu peso".	Mais uma vez o professor pode interromper o vídeo para fazer uma pergunta à turma: "se o barco flutua, o que podemos dizer a respeito do peso do barco e do empuxo aplicado sobre ele pela água?". Espera-se que, baseados nas Leis de Newton, os alunos digam que essas forças "são iguais", algo que o professor pode interpretar como correto, refazendo a afirmação com os termos adequados, como as forças tendo mesma direção e intensidade, mas sentidos contrários.

## CONTINUAÇÃO

Instante	Evento mostrado	O que se espera dos alunos
4min55s	Nesse momento está sendo medido o empuxo em um cilindro de alumínio. O narrador, então, sugere: "será que o empuxo muda se o cilindro de alumínio for trocado por outro de acrílico, de mesmo volume?".	Espera-se que, fazendo relação com o caso das bolinhas de isopor e de ferro, surja a suposição de que o empuxo mudará.
6min5s	Em uma situação similar à anterior, o narrador sugere: "será que o empuxo mudará se o cilindro de acrílico for trocado por uma placa de acrílico de mesmo volume?".	A mudança na forma do material certamente fará surgir uma rica discussão. Nesse momento, espera-se que os alunos apontem seus argumentos utilizando exemplos conhecidos. O professor pode, inclusive, apresentar algumas situações, como sugerir que os estudantes pensem em um balde ou em uma balsa.
7min8s	Dessa vez, no mesmo experimento, o narrador sugere: "será que o empuxo muda se a água for trocada por glicerina?".	Uma vez que alunos do ensino médio certamente já ouviram falar no mar Morto, ou em experiências que mostram a diferença entre flutuação de corpos em líquidos de diferentes densidades (ovo flutuando em água pura e água com sal), espera-se que surja a ideia de que a mudança de líquido gera uma mudança no empuxo.

## CONTINUAÇÃO

Instante	Evento mostrado	O que se espera dos alunos
8min2s	Nesse instante o narrador acaba de concluir que o empuxo da glicerina no cilindro de alumínio é diferente do empuxo da água. Na sequência o narrador afirmará: "logo, o empuxo depende do tipo de líquido".	Outro momento que o professor pode interferir com uma pergunta: "existe alguma relação entre o empuxo sofrido por um corpo e o líquido no qual o corpo está submerso?".
8min37s	No vídeo é mostrado um líquido em que se destaca um volume equivalente ao tamanho do cilindro submerso. Nesse volume destacado são analisadas as forças externas atuantes.	Esse é um momento que os alunos provavelmente terão algumas dúvidas em razão de um grau mais elevado de abstração. É necessário fazer uma pausa para explicar melhor a ideia de uma porção de líquido na qual forças estão atuando.

IV. Na última etapa, o professor poderá retomar o problema de Arquimedes, entregando aos grupos o texto de MARTINS (2008) contido no Material para o Aluno a fim de ser lido pelos grupos. Após a leitura do texto, o professor pode retomar o problema do ludião, solicitando de cada grupo a realização do desafio e a respectiva explicação para o fenômeno.

Ao tentar colocar o ludião equilibrado, é provável que os alunos associem o motivo da submersão ao incremento de pressão aplicada ao sistema quando se aperta a garrafa. O professor pode, então, interferir, sugerindo que prestem atenção ao líquido no interior do tubo e que pensem sobre o ar contido ali, sempre lembrando as variáveis envolvidas no sistema.

V. Por último, cada grupo poderá produzir uma pequena redação explicando o funcionamento do submarino.

#### 2.4. Apresentação do problema

O primeiro desafio a ser apresentado à turma é o de Arquimedes. Ele poderá ser apresentado à turma pelo professor oralmente. Não será contada à turma a solução desenvolvida por Arquimedes: somente o desafio, a fim de que cada grupo busque sua solução para o problema.

O segundo desafio poderá ser apresentado à turma, também, pelo professor, que mostrará o ludião em um ponto qualquer do líquido, sem deixar os alunos perceberem como o faz.

Naturalmente, espera-se que os alunos forneçam algumas respostas. Entretanto, o trabalho em sala de aula é muito dinâmico, de tal maneira que outras discussões podem surgir. Eventualmente um aluno pode apresentar uma pergunta originada de algum texto que tenha lido anteriormente, baseada em sua vivência ou algo que tenha observado, e o professor precisa estar preparado para situações que possam vir da vivência de seus alunos.

Para fazer o encerramento da atividade, o professor pode promover um debate com a turma, em que se faça a articulação entre os diversos conceitos estudados com o problema da água de lastro, solicitando, no final, que a turma proponha soluções para os problemas ocasionados, sem comprometer os transportes, o comércio etc.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### Água de Lastro



Figura 3. Água de lastro. Disponível em: [www.meioambienteurgente.blogspot.com.br](http://www.meioambienteurgente.blogspot.com.br)

A água de lastro é a água armazenada em tanques nos porões dos navios, mantendo a segurança e a eficiência operacional, especialmente quando o navio não está carregado. Ela é transportada de uma localidade para outra, levando junto espécies exóticas que podem causar danos aos ecossistemas marinhos, à saúde humana, à biodiversidade e às atividades pesqueiras.

Grande parte das espécies marinhas possui um ciclo de vida que inclui estágios planctônicos e, além desses organismos, bactérias, espécies totalmente planctônicas e pequenos invertebrados são carregados com a água do local onde os navios enchem os tanques antes de partirem para outros portos, quando são esvaziados.

O ambiente dentro dos tanques de lastro pode ser inóspito aos organismos, e mesmo aqueles que conseguem sobreviver e são

descarregados possuem chances reduzidas de sobrevivência nas novas condições ambientais.

Porém, algumas espécies conseguem se estabelecer no ambiente invadido e tornam-se capazes de ocupar o espaço de organismos residentes. São mais suscetíveis a esse processo portos situados em áreas protegidas, como baías<sup>8</sup> e estuários<sup>9</sup>, além de portos de carga ou descarga ecologicamente semelhantes.

As espécies exóticas que se fixam em novos ambientes geralmente ficam livres dos predadores naturais, podendo alterar o equilíbrio ecológico local e causar impactos negativos na pesca, na aquicultura e em outras atividades econômicas.

A International Maritime Organization da ONU estima que, em 1939, 497 espécies exóticas tinham sido introduzidas em ecossistemas de todo o mundo. Entre 1980 e 1998, esse número subiu para 2.214 espécies (Disponível em: [www.labec.com.br/biodigital/agua-de-lastro/](http://www.labec.com.br/biodigital/agua-de-lastro/). Acesso em: 5 ago. 2012).

### Atividade 1

A compreensão de fenômenos como os que estão por trás de fatos como o uso da água de lastro depende de alguns conceitos. Para isso, será necessário um trabalho prévio. Siga as instruções dadas por seu professor e, na sequência, responda as questões propostas a seguir:

- ▶ Por que uma pessoa consegue andar melhor na neve colocando abaixo de seus pés uma raquete?
- ▶ Qual seria a agulha indicada para uma injeção, a fim de não sentirmos dor: uma fina ou uma grossa? Explique.

<sup>8</sup> Baías: porção de mar ou oceano rodeada por terra.

<sup>9</sup> Estuários: ambiente aquático transicional entre um rio e o mar.

- ▶ Por que uma pessoa não se machuca quando se deita em uma cama de pregos?
- ▶ Por que um churrasqueiro, para cortar mais facilmente um pedaço de carne, precisa afiar a faca?
- ▶ Se tamparmos um copo cheio de água com um pedaço de papel e, em seguida, virarmos o copo de cabeça para baixo, o papel não cai e o líquido permanece confinado no copo. Como isso é possível? Essa situação, por ser simples, pode ser realizada para acompanhar a pergunta.
- ▶ Com relação à pergunta anterior, o tamanho do copo faz diferença? Justifique.
- ▶ Ainda com relação à mesma pergunta, o tipo de papel faz diferença? Justifique.

Responda a essas perguntas em uma folha de papel separada, individualmente.

## Atividade 2

Para começar essa atividade, seu professor fará uma apresentação sobre o ludião, cuja compreensão o ajudará a entender diversos fenômenos relacionados ao tema que será trabalhado. Após a apresentação, discuta com seu grupo as seguintes perguntas:

- ▶ O que faz com que os barcos, mesmo os mais pesados, em boas condições, não afundem?
- ▶ Como é possível um submarino viajar a qualquer profundidade? Como o piloto pode regular a profundidade do submarino?

Você já ouviu falar na história de Arquimedes e a coroa do rei? Ouça atentamente a apresentação que seu professor fará e busque com seu grupo a solução para o problema.

Em seguida, após fazer a proposta de solução para o problema de Arquimedes, assista ao vídeo que será apresentado.

### 2.1. Texto para a Atividade 2

Quanto a Arquimedes, ele certamente fez descobertas admiráveis em muitos domínios, mas aquela que vou expor testemunha, entre muitas outras, um engenho extremo. Hieron de Siracusa, tendo chegado ao poder real, decidiu colocar em um templo, por causa de seus sucessos, uma coroa de ouro que havia prometido aos deuses imortais. Ofereceu, assim, um prêmio pela execução do trabalho e forneceu ao vencedor a quantidade de ouro necessária, devidamente pesada. Este, depois do tempo previsto, submeteu seu trabalho, finalmente manufaturado, à aprovação do rei e, com uma balança, fez uma prova do peso da coroa. Quando Hieron soube, através de uma denúncia, que certa quantidade de ouro havia sido retirada e substituída pelo equivalente em prata, incorporada ao objeto votivo, furioso por haver sido enganado, mas não encontrando nenhum modo de evidenciar a fraude, pediu a Arquimedes que refletisse sobre isso. E o acaso fez que ele fosse se banhar com essa preocupação em mente e, ao descer à banheira, notou que, à medida que lá entrava, escorria para fora uma quantidade de água igual ao volume de seu corpo. Isso lhe revelou o modo de resolver o problema: sem demora, ele saltou cheio de alegria para fora da banheira e, completamente nu, tomou o caminho de sua casa, manifestando em voz alta para todos que havia encontrado o que procurava. Em sua corrida ele não cessava de gritar, em grego: *ΕΥΡΗΧΑ, ΕΥΡΗΧΑ* [Encontrei, encontrei!]. Assim encaminhado para sua descoberta, diz-se que ele fabricou dois blocos de mesmo peso, igual ao da coroa, sendo um de ouro e

o outro de prata. Feito isso, encheu de água até a borda um grande vaso, no qual mergulhou o bloco de prata.

Escoou-se uma quantidade de água igual ao volume imerso no vaso. Assim, depois de retirado o corpo, ele colocou de volta a água que faltava, medindo-a com um *sextarius*<sup>10\*</sup>, de tal modo que o nível voltou à borda, como inicialmente. Assim, ele encontrou o peso de prata correspondente a uma quantidade determinada de água. Feita essa experiência, ele mergulhou, então, da mesma forma o corpo de ouro no vaso cheio, e depois de retirá-lo fez sua medida seguindo um método semelhante: partindo da quantidade de água necessária, que não era igual e sim menor, encontrou em que proporção o corpo de ouro era menos volumoso do que o de prata, quando tinham pesos iguais. Em seguida, depois de ter enchido o vaso e mergulhado dessa vez a coroa na mesma água, descobriu que havia escoado mais água para a coroa do que para o bloco de ouro de mesmo peso e, partindo do fato de que fluía mais água no caso da coroa do que no do bloco, inferiu por seu raciocínio a mistura de prata ao ouro e tornou manifesto o furto do artesão.

(VITRUVIUS. *De l'architecture*. Livro IX, preâmbulo, §§ 9-12, p. 5-7).

<sup>10</sup> Medida romana de volume (0,547 litro, em valores atuais), que tinha esse nome por ser equivalente a 1/6 do congius, que correspondia a aproximadamente um galão moderno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRASCO, H.J. Experimento de laboratório: un enfoque sistémico y problematizador. *Revista de Ensino de Física*, 13, 1991.

MARTINS, R.A. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.17, n.2, p.115-121, 2000.

**Autor: Vitor Cossich de Holanda Sales**

Este trabalho é parte da dissertação defendida em 28 de fevereiro de 2012, no Instituto de Física da UFRJ, com o título *Uma proposta para o ensino de hidrostática através de atividades investigativas com enfoque C-T-S*.

Atualmente o autor leciona nas seguintes escolas: Colégio Pedro II, Colégio Teresiano, Liceu Franco-Brasileiro e Colégio de São Bento.

## Capítulo 5

# O MOTOR A COMBUSTÃO NA SOCIEDADE

*João Paulo Fernandes*

### I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

Este capítulo está estruturado em torno do tema “motor a combustão utilizado na sociedade” e objetiva abordar conteúdos de Termodinâmica tratados no ensino médio. A sequência didática proposta contém quatro unidades onde, inicialmente, são apresentados aspectos relativos ao tema, cujas discussões estão presentes no dia a dia, a fim de problematizar e contextualizar o uso dos motores a combustão. Além disso, a sequência apresenta elementos da tecnologia presentes no motor a combustão e introduz os conteúdos físicos relacionados com o tema. Todas as atividades sugeridas estão organizadas de maneira que os debates sobre as controvérsias que envolvem o tema sejam explorados, ao mesmo tempo que se dá o aprendizado da Física.

Assim, os conteúdos da Termodinâmica são introduzidos a partir de discussões que problematizam a controvérsia que envolve o uso de automóveis e o lançamento de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera terrestre, apontado por alguns segmentos de cientistas como um dos grandes vilões do aquecimento global.

Na Unidade I são discutidos alguns problemas relacionados ao aquecimento global e seus possíveis impactos na sociedade. Em um segundo momento, indicamos a existência de políticas voltadas para a diminuição da poluição como, por exemplo, o Protocolo de Kyoto. O professor poderá dividir a classe em pequenos grupos a fim de motivar o trabalho colaborativo entre os estudantes.

Na Unidade II são tratados aspectos relacionados com a tecnologia presente nos motores de combustão interna utilizados na maior parte dos veículos automotores, apresentando a tecnologia relacionada ao tema. O próximo passo é problematizar essa discussão. Para isso, indicamos o texto de Stapp (2010), que relaciona e discute os interesses econômicos envolvidos com a indústria automobilística e o descaso com os aspectos relacionados ao bem-estar da população e à preservação do meio ambiente.

Na Unidade III são introduzidos os conteúdos de Física, propriamente ditos, relacionados com o funcionamento do motor a combustão. Isso inclui a 1ª lei da Termodinâmica, a 2ª lei da Termodinâmica, discussões sobre as máquinas térmicas e suas especificidades. A primeira atividade dessa Unidade está baseada no desenvolvimento de um aparato que transforme energia térmica em energia mecânica. Nessa etapa, o professor poderá sugerir o desenvolvimento do conhecido “fogueto de álcool”, uma máquina térmica de combustão interna que pode ser produzida com materiais de baixo custo. No site [www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=121#top](http://www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=121#top) é possível encontrar orientações sobre como montar o fogueto. Uma segunda sugestão de atividade experimental seria a histórica máquina de Heron de Alexandria, cujas informações estão disponíveis no site [www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=541&MAQUINA+TERMICA+DE+HERON](http://www.pontociencia.org.br/experimentos-interna.php?experimento=541&MAQUINA+TERMICA+DE+HERON). Também nesse caso a reprodução dessa invenção com material de baixo custo pode ser sugerida aos estudantes.

O objetivo da Unidade IV é propor um debate simulado em sala de aula (VIEIRA e BAZZO, 2007). O debate objetiva destacar pontos positivos e negativos referentes ao uso dos motores de combustão interna, discutindo seus efeitos, dentre eles o aquecimento global, que é nosso problema inicial. Veja, a seguir, uma sequência que pode auxiliar no desenvolvimento desse debate em sala de aula:

ETAPA	PROCEDIMENTOS
Preparação do Debate	<p>Assistir ao filme “O dia depois de amanhã”, do diretor Roland Emmerich, destacando os 10 primeiros minutos, onde há uma discussão envolvendo posições distintas sobre o aquecimento global, além das questões econômicas envolvidas. Esse filme é facilmente encontrado na rede mundial de computadores e alguns trechos podem ser visualizados no site <a href="http://www.youtube.com.br">www.youtube.com.br</a>.</p> <p>Após assistir ao filme, a turma pode ser dividida em três grupos, conforme descrito abaixo:</p> <p>Grupo 1: adeptos do uso da tecnologia, em prol do desenvolvimento humano e econômico, independente do que possa causar.</p> <p>Grupo 2: defensores do uso consciente da tecnologia, a fim de evitar futuras catástrofes causadas pela poluição e detritos lançados no meio ambiente.</p> <p>Grupo 3: jurados que devem julgar os argumentos desenvolvidos pelos dois grupos.</p>
Trabalho em Equipe	Definidos os papéis de cada equipe, elas terão um tempo para preparar informações e argumentos para defenderem sua posição.
Exposições dos Grupos	Nessa etapa cada grupo defende oralmente a posição assumida.

ETAPA	PROCEDIMENTOS
Debate Aberto	<p>O debate possui o intuito de confrontar diferentes pontos de vista. Algumas normas, antes do início do debate, podem ser estipuladas pelo professor. Por exemplo:</p> <p>Grupo 1 faz uma pergunta; grupo 2 tem um tempo para responder; grupo 1 tem direito à réplica (contestando a resposta se julgar necessário); grupo 2 tem direito à tréplica (buscando novos argumentos e justificando sua resposta).</p> <p>O professor será o mediador desse debate, coordenando as discussões (passa a palavra de um grupo para outro, evita que apenas algumas pessoas monopolizem as discussões e procura incentivar a participação de todos).</p> <p>Grupo 2 faz sua pergunta; grupo 1 tem um tempo para responder (réplica, tréplica e assim prossegue o debate).</p> <p>O papel do terceiro grupo (grupo 3) é o de avaliar os argumentos elaborados e julgar para definir um vencedor. É importante estar atento para verificar se os argumentos elaborados utilizam os conceitos científicos propriamente ditos, ou se ficam limitados a utilizar as informações contidas nos textos que auxiliam a contextualizar e a problematizar o tema.</p>
Conclusões e Avaliação	<p>Momento de reflexão sobre as controvérsias e suas implicações. Os alunos, agora despidos dos papéis assumidos durante o debate simulado, têm a oportunidade de expressar individualmente seus posicionamentos sobre as controvérsias.</p> <p>Além da exposição oral dos posicionamentos dos alunos, sugerimos que o professor solicite a elaboração de um texto individual acerca do debate.</p>

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### UNIDADE I: Veículos automotores: problema ou solução para a sociedade contemporânea?

Vamos iniciar essa Unidade com uma reflexão sobre o uso dos automóveis e as questões envolvidas com esse produto da tecnologia presente em nosso cotidiano. As atividades propostas serão realizadas em grupos de no máximo cinco alunos.

Reúna-se com seu grupo, faça uma leitura do Texto 1 e discuta seu conteúdo com seus colegas.

**Texto 1:** adaptado do texto do Jornal *O Globo*, de 20 de setembro de 2010.

#### *Os Vilões do Efeito Estufa*

Por: Cláudio Motta e Leonardo Cazes

Um estudo encomendado à Coppe/UFRJ pela prefeitura da cidade do Rio de Janeiro e publicado também pelo jornal *O Globo* em 20 de setembro de 2010 (MOTTA e CAZES, 2010) revelou que os meios de transporte rodoviário são os maiores poluidores, com 33% do total de gases do efeito estufa que são lançados na atmosfera. Em seguida, vêm as emissões provenientes do lixo, com 25%, e a poluição industrial, com 10%. Os resultados levaram em conta dados referentes ao ano de 2005 e foram apresentados no Fórum Carioca de mudanças climáticas<sup>11</sup>, que aconteceu na cidade do Rio de Janeiro em 2010, podendo ser considerados alarmantes porque trazem informações obtidas já no ano de 2005. Com o crescimento econômico do nosso país, acompa-

<sup>11</sup> O Fórum faz parte do conjunto de ações que o município do Rio de Janeiro está adotando para atingir a meta, estabelecida no Programa Rio Sustentável, de reduzir em 8% a emissão de gases do efeito estufa até 2012.

nhado do aumento da renda familiar e das facilidades de crédito, as vendas tendem a aumentar e a produção da indústria automotiva deve acompanhar esse crescimento, promovendo um aumento no número de veículos nas ruas e, conseqüentemente, dos transtornos, tais como a poluição e os congestionamentos.

Para que possamos ter ideia desse crescimento, segundo dados da ANFAVEA<sup>12</sup> (2010), a produção de veículos no país cresceu 17,5% nos oito primeiros meses de 2010 em comparação com o mesmo período com relação ao ano de 2009, atingindo um quantitativo de 2,406 milhões de unidades, batendo, assim, um novo recorde. O maior quantitativo tinha sido contabilizado em 2008, com 2,324 milhões de veículos produzidos.

Entretanto, a produção de automóveis não pode ser vista só como problema, já que promove, indiscutivelmente, um aumento no número de postos de trabalho, trazendo renda para milhares de famílias desses trabalhadores.

#### Atividade 1

Reúna-se com seus colegas de grupo e, tendo como base pesquisas realizadas em jornais, revistas ou internet, elabore respostas para as seguintes questões:

Questão 1: Atualmente podemos observar, através dos meios de comunicação, que a temperatura da Terra vem aumentando ao longo dos anos. Essa afirmação é comprovada por dados experimentais coletados em centros especializados. Explique com suas palavras por que isso está acontecendo.

Questão 2: Você considera esse aumento da temperatura terrestre um processo natural ou causado pelo homem? Por que?

Questão 3: Você acha que existe alguma relação entre os veículos automotores e o aumento da temperatura terrestre? Justifique sua resposta.

<sup>12</sup> ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

Questão 4: O Texto 1 afirma que 33% da poluição lançada na atmosfera é produzida pelos meios de transportes rodoviários. Entretanto, sabemos que dependemos desses meios. Reflita sobre os outros meios de transporte disponíveis e sobre os pontos positivos e negativos em relação a cada um deles, destacando alternativas para que possamos diminuir a poluição provocada pelos meios de transportes.

## Atividade 2

Autoridades de todo o planeta já atentaram para os riscos relacionados com o aquecimento global e se mostram preocupados com as previsões extremistas para um futuro bem próximo se continuarmos a poluir o planeta. O texto 2 trata de algumas questões que envolvem o protocolo de Kyoto e será utilizado para responder as questões dessa atividade.

**Texto 2:** adaptado do *Jornal Folha de São Paulo online*, de 11 de dezembro de 2010. (Disponível em: [www1.folha.uol.com.br/ambiente/844309-entenda-importancia-do-protocolo-de-kyoto-contra-o-efeito-estufa.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/844309-entenda-importancia-do-protocolo-de-kyoto-contra-o-efeito-estufa.shtml))

### *A importância do Protocolo de Kyoto e o aquecimento global*

Por: Agence France-Presse<sup>13</sup>

O Protocolo de Kyoto é o único instrumento jurídico internacional que impõe aos países ricos reduções obrigatórias de suas emissões de gases de efeito estufa, e sua extensão para além de 2012 foi o principal obstáculo superado pela COP-16 (16ª Con-

<sup>13</sup> A Agence France-Presse (AFP) é uma agência de notícias sediada na França, considerada uma das mais prestigiadas no mundo. Fundada em 1835 e com base em Paris, a AFP é, ao lado da Associated Press e da Thomson Reuters, uma das três maiores agências de notícias do mundo.

ferência das Partes da Convenção do Clima da ONU), realizada em Cancun, no México, no ano de 2010.

Aprovado como um protocolo anexo à Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CMNUCC), Kyoto foi concluído na cidade japonesa de mesmo nome em 1997, mas não entrou em vigor até fevereiro de 2005.

Ele impõe aos 36 países industrializados que o ratificaram reduções em suas emissões das seis principais substâncias responsáveis pelo aquecimento global: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e três gases flúor (HFC, PFC e SF<sub>6</sub>).

As limitações referem-se principalmente à queima de combustíveis fósseis, como petróleo, gás e carvão, responsáveis por dois terços das emissões mundiais de gases de efeito estufa.

Os países em desenvolvimento não ficaram vinculados a um compromisso de redução de gases; entretanto, as recomendações ocorrem na forma de apelo para redução da poluição.

O Protocolo de Kyoto conta atualmente com 183 Estados-membros, além da União Europeia, com a notável exceção dos Estados Unidos, que se recusou a ratificá-lo.

Os países industrializados, responsáveis por cerca de 30% das emissões mundiais, se comprometeram a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 5% no período entre 2008 e 2012 em relação ao ano de referência de 1990.

O Protocolo impõe “objetivos diferentes” de acordo com o país: por exemplo, de 8% para o conjunto da União Europeia ou de 6% para Canadá e Japão.

Os países emergentes – entre eles China (recentemente tornou-se o maior poluidor mundial), Brasil e Índia – estão isentos das reduções, da mesma forma que os países em desenvolvimento, apesar de seu crescimento excepcional.

A primeira fase de compromissos do Protocolo expira no final de 2012 e muitos países pediram uma extensão no cumprimento da diminuição dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Entretanto, chocaram-se na COP-16 com a feroz oposição do Japão e posteriormente da Rússia, que o classificou de injusto por não impor controle sobre as emissões dos dois maiores poluidores, que são também seus rivais comerciais: Estados Unidos e China.

Questão 1: Você acha que é possível o cumprimento das medidas que foram propostas em Kyoto? Por que?

## UNIDADE II: A tecnologia do motor a quatro tempos

Nessa segunda Unidade estudaremos um pouco da tecnologia que está associada ao *motor a combustão* utilizando textos que retratam questões relacionadas ao uso dos motores de combustão interna a quatro tempos, tecnologia presente nos automóveis que circulam nas cidades.

### Texto 3: O funcionamento do motor a combustão a quatro tempos

Diferentemente de algumas décadas atrás, hoje o automóvel possui características como agilidade, conforto pessoal, além de ser também mais silencioso e muito mais seguro quando comparado há alguns anos. Nos últimos anos, os automóveis em sua totalidade passaram por incontáveis modificações, e elas os tornaram cada vez mais desejados por grande parte das pessoas. O processo de fabricação em sua totalidade gera milhões de empregos em todo o mundo e movimenta bilhões de dólares, o que representa lucro para a indústria automobilística.

Os veículos automotores, tais como automóveis, ônibus e caminhões, são basicamente movimentados a partir de um motor a combustão, considerado um tipo de máquina térmica. Nesses ve-

ículos, a produção do movimento ocorre em razão da queima do combustível, a qual libera uma grande quantidade de calor que é utilizado, ou seja, trata-se de um processo de transformação de energia.

A maioria dos automóveis atualmente utiliza o chamado ciclo de combustão de quatro tempos para converter a energia térmica através da combustão em energia mecânica. Esse ciclo também é conhecido como ciclo de Otto, em homenagem a Nikolaus Otto (1832-1891), que muito contribuiu para os estudos das máquinas térmicas no século XIX.

Abaixo segue um esquema de um motor a quatro tempos, indicando o processo de queima do combustível:

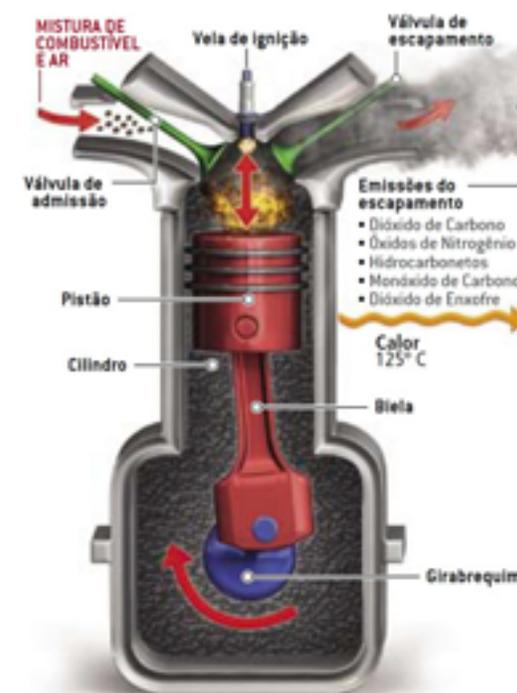


Figura 1: Motor de combustão interna de um automóvel.

Fonte: Scientific American Brasil. Aula aberta 1, n. 1, 2009.

A tabela a seguir apresenta as etapas do funcionamento de um motor de combustão interna, isto é, o que ocorre em cada um dos quatro tempos:

**Tabela 1: Os quatro tempos do motor de combustão interna**

1º Tempo	Denominado admissão. A válvula de admissão se abre, permitindo a entrada da mistura explosiva combustível com o ar. Enquanto isso acontece, o cilindro desce.
2º Tempo	Denominado compressão, o pistão sobe fazendo com que a mistura de ar mais combustível seja comprimida. Nessa etapa ocorre uma elevação da temperatura, a válvula de admissão e a válvula de escapamento permanecem fechadas.
3º Tempo	Denominado combustão ou explosão, a vela de ignição produz uma centelha elétrica, causando a ignição da mistura explosiva. Esse é o único tempo no qual há produção de trabalho. Isso acontece porque os gases quentes da combustão submetidos à alta pressão fazem o pistão descer, comunicando movimento a um sistema que transforma esse movimento em rotação.
4º Tempo	Denominado exaustão ou escapamento, a válvula de escapamento se abre permitindo o escape dos gases enquanto o pistão do cilindro sobe.

É no quarto tempo que ocorre a eliminação dos gases resultantes do processo, que podem ser nocivos para a população e contribuir para o aquecimento global, segundo alguns cientistas. Os principais gases lançados na atmosfera após a queima são: o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e também, em menor quantidade, enxofre, aldeídos, fuligem (diesel) e outros tantos.

Segundo o Protocolo de Kyoto (1997), são seis gases os causadores do efeito estufa: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrofluorcarbono (HFC), perfluorcarbono (PFC) e hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Entretanto, o dióxido de carbono sempre teve um papel fundamental no controle da temperatura global do nosso planeta. Com o aumento do consumo de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) em indústrias e em veículos automotores, conseqüentemente a concentração de dióxido de carbono em nossa atmosfera duplicou nos últimos 100 anos (BORTHOLIN e GUEDES, 2003). É com base nesse ritmo de consumo e no desmatamento desenfreado que as florestas<sup>14</sup> vêm sofrendo ao longo de décadas, que os segmentos de cientistas culpabilizam o dióxido de carbono e justificam o aumento da temperatura global atualmente sentido.

O Quarto Relatório Científico do IPCC<sup>15</sup> AR4 (TRENBERTH *et al.*, 2007; MEEHL *et al.*, 2007) apresenta evidências de mudanças de clima que podem afetar significativamente o planeta, especialmente nos extremos climáticos e com maior rigor nos países menos desenvolvidos na região tropical. As principais conclusões desse relatório sugerem, com confiança acima de 90%, que o aumento do aquecimento global nos últimos 50 anos é causado pelas atividades humanas (MARENGO, 2008).

Se o lançamento de gás carbônico na atmosfera continuar aumentando na mesma velocidade das últimas décadas, não há dúvidas, segundo o documento, de que a temperatura do nosso planeta continuará aumentando, e os desastres previstos são muito graves e extremamente agressivos para todos os seres. Como exemplo, as calotas de gelo polares poderão derreter, causando grandes inundações na costa de todos os continentes, ocasionando

<sup>14</sup> As florestas possuem um papel fundamental, pois no processo da fotossíntese a planta absorve  $\text{CO}_2$  da atmosfera, o qual será transformado em moléculas de glicose, e como consequência disso, o oxigênio que sobra é liberado para a atmosfera.

<sup>15</sup> IPCC AR4. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Quarto relatório de avaliação. Em 2007, essa entidade foi agraciada com o Prêmio Nobel da Paz.

até o desaparecimento de algumas cidades litorâneas. As correntes de ar dos oceanos poderão sofrer alterações em sua direção e intensidade, modificando a distribuição de calor na Terra. Assim, grandes regiões agrícolas poderão se tornar desertos, e tempestades de grande intensidade poderão ocorrer com maior frequência por causa das variações climáticas.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima é o principal organismo de avaliação da mudança climática, estabelecido pela Organização das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e objetiva fornecer à população mundial uma visão atual sobre as mudanças climáticas e suas possíveis consequências.

No que diz respeito à política de transporte de massa no Brasil, a falta de conforto e de pontualidade dos transportes públicos nos obriga a usar o transporte individual e, com isso, o aumento de veículos nas ruas é inevitável, ocasionando grandes transtornos e aumentando a concentração de gases nocivos para a população e para o planeta.

### Atividade 1

Junte-se aos seus colegas de grupo e elabore um pequeno texto (aproximadamente 20 linhas) destacando aspectos positivos e negativos que os veículos automotores trouxeram para a sociedade, o que podemos sugerir aos nossos governantes, no sentido de melhorar os aspectos destacados, citando algumas alternativas de transportes em substituição aos meios que utilizam o motor a combustão, a fim de diminuir a poluição lançada na atmosfera.

### Atividade 2

O Texto 4 discute como atualmente o governo da Califórnia nos Estados Unidos da América está se mobilizando e obrigando a indústria automobilística a investir em novas tecnologias que utilizam fontes de energias renováveis menos agressivas para o meio ambiente do que os combustíveis fósseis.

Leia o texto abaixo:

**Texto 4:** adaptado do sítio Projeto Tierramérica, medio ambiente y desarrollo, de 19 de fevereiro de 2005. (Disponível em: [www.tierramerica.net/2005/0219/particulo.shtml](http://www.tierramerica.net/2005/0219/particulo.shtml))

#### *Indústria automobilística desafia lei californiana*

Por: Katherine Stapp

Todos os novos veículos na Califórnia devem emitir 30% menos CO<sub>2</sub> em 10 anos, segundo essa legislação única no mundo. Os fabricantes recorreram aos tribunais. “Ford, General Motors e Chrysler estão no fim da fila quando se fala em redução de gases causadores do efeito estufa”, disse ao Tierramérica Jason Mark, da União de Cientistas Preocupados, com sede em Massachusetts.

A maioria dos fabricantes reconhece o problema da mudança climática, mas argumentam que os padrões californianos não são realistas e acabarão custando aos consumidores milhares de dólares a mais nos preços dos carros. O Protocolo de Kyoto, em vigor desde o dia 16 de fevereiro, obriga 35 nações industriais a reduzirem suas emissões de gases que aquecem a atmosfera a

volumes 5% inferiores ao que era emitido em 1990, com prazo entre 2008 e 2012.

“As companhias têm estratégias de investimento de prazo muito curto e demonstraram não serem modelos empresariais prudentes. O Japão vem ganhando porções do mercado há décadas. Em definitivo, o que está em jogo é a transformação da indústria automobilística dos Estados Unidos”, disse Mark. A UCS afirma que existe tecnologia para reduzir em 20% o potencial de contaminação de todos os novos veículos da Califórnia, melhorando os sistemas de condicionamento do ar, os motores, a transmissão e reduzindo cargas. E, segundo o Grupo, novas técnicas ainda em desenvolvimento poderão levar a redução a até 40% nos próximos cinco anos.

Os veículos com motores híbridos (gasolina e eletricidade) ganham lentamente terreno entre o público. A alta do preço internacional do petróleo influi nas decisões. O governo federal oferece um incentivo em impostos de até US\$ 2 mil para o comprador de um carro híbrido, mas o benefício se reduzirá a apenas US\$ 500 em 2006 e será eliminado em 2007. Alguns fabricantes asiáticos, a vanguarda da indústria de veículos limpos, anunciaram planos de economia energética em suas fábricas e maior produção de modelos limpos.

Esse texto deixa bem claro a disputa entre os grandes empresários da indústria americana e as políticas públicas para a diminuição dos gases lançados pelos automóveis. É a batalha entre o lucro e o bem-estar social.

Questão 1: Uma questão que a todos preocupa é como compatibilizar a diminuição dos gases lançados na atmosfera com a diminuição dos lucros dos grandes empresários. Na sua opinião, o que deve ser priorizado? Justifique sua resposta.

Questão 2: Dê sua opinião identificando os aspectos positivos e negativos para a implementação da medida proposta pelo governo da Califórnia nos EUA. Essa proposta seria viável em nosso país? Discuta essa possibilidade.

### UNIDADE III: A física do motor a combustão interna

Nessa Unidade discutiremos os conteúdos científicos envolvidos com o princípio de funcionamento do motor a combustão interna, introduzindo alguns conceitos da Termodinâmica.

#### Texto 5: A relação entre os automóveis e as leis da Termodinâmica

Um dos mais importantes produtos tecnológicos desenvolvidos pelo ser humano é o motor de combustão interna, uma máquina termodinâmica que transforma o calor em energia mecânica. A seguir, vamos analisar os conteúdos de Física que estão envolvidos com o funcionamento de um motor a quatro tempos.

Podemos observar que um motor de um automóvel é uma máquina térmica e seu funcionamento se relaciona com as leis da Termodinâmica, ou seja, as leis da Termodinâmica regem o funcionamento dessa máquina térmica.

A ciência da Termodinâmica foi desenvolvida no início do século XIX e fornece a teoria básica das máquinas térmicas. Está fundamentada na conservação de energia e no princípio de que o calor é transmitido espontaneamente do quente para o frio e não no sentido inverso.

Quando um motor completa seu ciclo<sup>166</sup>, a energia química advinda do combustível só é transformada em trabalho no 3º tempo. Nas outras etapas (1º, 2º e 4º tempos), o pistão é empurrado em razão do movimento do virabrequim<sup>177</sup>. Parte do calor obtido na queima é dissipado como energia interna dos gases resultantes da combustão, pois saem pelo escapamento a temperaturas muito elevadas. Uma parte do calor aquece as peças do motor que são refrigeradas continuamente, trocando calor com o meio externo. Podemos afirmar que a energia ou a quantidade de calor fornecida ao sistema pelo combustível aumenta sua energia interna, fazendo que haja realização de trabalho. Esse processo é justificado pela **1ª lei da Termodinâmica**, e o princípio da conservação da energia nos ajuda a compreender a relação entre as quantidades de energia envolvidas, sendo expresso por:

$$Q = \Delta U + T$$

Onde:

Q = Energia do combustível

$\Delta U$  = Variação de energia interna do sistema

T = Trabalho realizado

A **2ª lei da Termodinâmica** nos garante que nenhuma máquina térmica pode converter todo o calor disponível em energia mecânica. Apenas parte do calor pode ser transformada em trabalho, sendo o restante eliminado durante o processo. Como exemplo, vemos a figura abaixo:

<sup>166</sup> Todas as máquinas térmicas operam em ciclo, isto é, retornam periodicamente às condições iniciais.

<sup>177</sup> Virabrequim tem a função de transformar o movimento alternativo de sobe e desce dos pistões em movimento de rotação.



Figura 2: Quantitativo da energia consumida por um automóvel.

Podemos observar no esquema apresentado acima e com base em dados fornecidos por Hewitt (2000) que apenas 26% da energia térmica produzida pela queima da gasolina em um automóvel é transformada em energia mecânica, sendo a maior parte dela perdida para vencer o atrito e superar a resistência do ar.

### Atividade 1

A partir do que estudamos até aqui, verificamos que o motor a quatro tempos é uma máquina térmica e que sua principal função é transformar a energia térmica em energia mecânica, ou seja, movimento.

Mas existem outras máquinas térmicas muito simples e que você pode reproduzir com criatividade e bastante facilidade, utilizando material de baixo custo. Assim, vamos realizar uma gincana

onde você e seu grupo terão a oportunidade de escolher uma entre duas opções: a reprodução do chamado “foguetes de álcool” ou a reprodução da histórica máquina de Heron de Alexandria. Seja qual for sua escolha, o processo de engenharia utilizado deve levar em conta a eficiência máxima da máquina construída. Você poderá encontrar orientações sobre essas engenhocas em sítios da internet ou com seu professor. Boa sorte!

#### UNIDADE IV: Debate simulado – a rediscussão do problema inicial

Nessa Unidade realizaremos um debate simulado. A turma se divide em três grupos. O primeiro grupo assume a posição de defender a produção de motores de combustão interna. O segundo grupo assume a posição contrária e o terceiro grupo assume a posição de júri, que deverá julgar qual dos dois grupos melhor defende sua posição. Além da exposição oral, sugerimos que os estudantes elaborem um texto individual acerca do debate.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTHOLIN, E; GUEDES, B. *O Efeito Estufa*. São Paulo: USP, 2003.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. Tradução de RICCI, T. F. e GRAVINA, M. H. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. *Estud. av. (on-line)*, v. 22, n. 63, 2008. ISSN 0103-4014. p. 83 - 96.

MOTTA, C.; CAZES, L. Os vilões do Efeito Estufa. *Jornal o Globo*, 20 set. 2010.

STAPP, K. A. Indústria automobilística desafia lei californiana. *Projeto Terra America, meio ambiente e desenvolvimento*. 2010. Disponível em: <<http://www.tierramerica.net/2005/0219/particulo.shtml>>. Acesso em: 25 out. 2010.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. *Revista Ciência e Ensino*, número especial, 2007. p. 1-12.

**Autor: João Paulo Fernandes**

**Essa atividade é parte do trabalho desenvolvido na monografia defendida em 1º de março de 2011, como requisito para conclusão do curso de Licenciatura em Física, no Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).**

**João Paulo Fernandes é licenciado em Física pela UFRJ, professor de Física no Centro Escolar Copacabana (CEC) e aluno do curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Saúde no Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde (NUTES) – UFRJ.**

## Capítulo 6

# IRREVERSIBILIDADE

*Carlos Frederico Marçal Rodrigues*

### INTRODUÇÃO

A experiência cotidiana mostra que, embora um ovo cru torne-se um ovo frito quando colocado sobre uma chapa aquecida por alguns minutos, um ovo frito jamais voltará a ser um ovo cru se colocado no congelador. Um cubo de gelo derrete sobre um prato à temperatura ambiente, mas a água jamais recriará a forma de cubo caso o prato seja colocado no congelador. Uma gota de tinta colocada em um copo com água se difunde e tingem o líquido em alguns minutos, mas jamais veremos água colorida se tornar límpida e recriar a gota de tinta espontaneamente. Uma bola abandonada de encontro ao solo tornará a subir, mas jamais atingirá a altura original uma segunda vez. A tentativa de fazer a imagem mental da reversão temporal de eventos como esses fere os sentidos e o bom-senso. É de tal forma absurda que pode parecer, sob um olhar desatento, uma simples obviedade ao invés de uma regularidade

importante dos fenômenos físicos que demanda atenção e aprofundamento.

Como aponta Menezes (2005), as leis de conservação, pilares fundamentais na formulação clássica da Física, podem ser vistas como expressões de simetrias em suas variáveis fundamentais: o espaço e o tempo. A descrição do movimento de um carro como retilíneo e uniforme em um dado sentido, feita por um observador na estrada, tem seu sentido trocado caso seja feita por um observador localizado em um segundo carro que o ultrapasse. Desde que seja adotado um referencial inercial adequado, é possível reverter espacialmente o movimento, o que representa apenas a conservação do momento linear. Por outro lado, a conservação da energia é consistente com uma possível reversão temporal dos fenômenos, por mais ofensiva que a ideia possa ser à experiência cotidiana. Uma bola abandonada a uma certa altura do solo, que repica algumas vezes atingindo alturas cada vez menores até o repouso, poderia retornar à altura original como se revertesse a passagem do tempo? Se fosse possível fazer retornar ao sistema, na forma de energia mecânica, toda a energia gradativamente dissipada, ou convertida em formas menos nobres ou menos organizadas, como o calor, integral e naturalmente, a resposta seria sim. Observações como essa apontam a necessidade da construção de uma lei que quebre a simetria do tempo, admitida implicitamente pela conservação da energia ou primeira lei da Termodinâmica. A única lei que dá conta dessas observações é a segunda lei da Termodinâmica.

Infelizmente, a abordagem da segunda lei da Termodinâmica é muitas vezes negligenciada ou relegada a segundo plano, como um apêndice da primeira, em grande parte dos livros didáticos de Física para o ensino médio e nos conteúdos programáticos das es-

colas. De acordo com Santos e Pernambuco (2008), essa deficiência nos livros didáticos consagrados se deve às dificuldades causadas pelo aparente salto epistemológico entre as visões microscópica e macroscópica do conceito de Entropia. De fato, ambas as definições esbarram em obstáculos matemáticos difíceis de contornar no ensino médio e a demonstração rigorosa de sua equivalência não é viável nesse contexto. Ainda segundo Santos e Pernambuco (2008), a maioria dos livros didáticos contempla apenas o tratamento macroscópico e apela à noção de “desordem” em uma tentativa de estabelecer o conceito de Entropia de forma brusca e descontextualizada. Segundo verifica Viard (2005), em uma pesquisa com estudantes de nível superior, esse tipo de abordagem faz que grande parte dos estudantes desconsidere o caráter cinético dessa concepção de desorganização e associe erroneamente o aumento da Entropia com o aumento de volume.

Verifica-se em quase todas as escolas um tradicional desinteresse pela segunda lei da Termodinâmica. Em grande parte dos currículos programáticos, em escolas públicas e privadas, ela é tratada como tópico opcional e, na prática, quase nunca é abordada. É interessante notar que os PCNs reconhecem implicitamente esse tradicional desinteresse e apontam suas consequências nocivas com relação a uma compreensão mais ampla do conceito de energia.

A omissão dessa discussão da degradação da energia, como geralmente acontece, deixa sem sentido a compreensão da própria conservação da energia e dos problemas energéticos e ambientais do mundo contemporâneo. (BRASIL, 2002)

Uma compreensão mais profunda do conceito de energia passa necessariamente pelo reconhecimento da inevitabilidade da degradação. A omissão dessa discussão adere o conceito a modelos idealizados de conservação da energia mecânica e os afasta da

observação direta do mundo real e cotidiano, irremediavelmente dissipativo e irreversível.

A abordagem tradicional da segunda lei, quando é feita, faz uso do estudo do rendimento das máquinas térmicas e o estabelecimento de um rendimento máximo teórico associado ao ciclo reversível ou ciclo de Carnot, o qual, embora máximo, é sempre inferior à unidade. De fato, o caminho histórico da construção da Termodinâmica passa pelos esforços feitos por homens como Joule, Watt, Carnot, Clausius e Kelvin no sentido do aprimoramento técnico das invenções que alavancaram a Revolução Industrial. Porém, não parece derivar diretamente desse estudo uma compreensão das relações entre a teoria e a observação cotidiana da irreversibilidade dos processos naturais.

A questão da irreversibilidade e da degradação da energia passa também por aspectos da tecnologia, em particular, o problema da geração de energia elétrica. A frustração do sonho do moto-contínuo, almejado pela humanidade há quatro séculos, pode servir como pano de fundo para uma ampliação da discussão acerca da primeira e da segunda leis da Termodinâmica.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

### Atividade 1

#### 1.1. Objetivos

Através da leitura e da discussão de um texto jornalístico, relacionar a questão da degradação da energia com o problema da geração de energia elétrica.

### 1.2. O texto

O texto que sugerimos é um trecho de um artigo publicado no jornal *O Estado de São Paulo* em fevereiro de 2000, que relata o projeto de construção de uma máquina hidráulica para geração de energia elétrica, na Ilha de Canárias, no Maranhão (*vide* Material para o Aluno).

O texto descreve o grave problema de escassez de energia elétrica que sofre a ilha, onde um único gerador a diesel mostra-se claramente insuficiente para as necessidades da comunidade, associado ao sonho de um morador local de resolver o problema da população com seu invento. Mesmo consciente do insucesso de todas as tentativas de projetos implementados ao longo de quatro séculos, o inventor insiste em acreditar em sua ideia, estimulado pela difícil situação do povo local. Curiosamente, ele consegue investimentos até mesmo da prefeitura, que não vê alternativas para o problema da ilha e acaba aderindo ao sonho dos moradores.

O texto cita também o filme *Kenoma* de 1996, de Eliane Caffé, que conta uma história ficcional muito similar à relatada na reportagem. A exibição desse filme para a turma pode ser uma atividade interessante.

### 1.3. Realização da atividade

Sugere-se que os alunos, organizados em pequenos grupos, leiam o texto e discutam-no, e que o professor circule entre os grupos de modo a observar e estimular as discussões. Após a leitura, recomenda-se que os alunos respondam duas questões propostas no final do texto (*vide* Material para o Aluno).

O aspecto mais importante da discussão que se pretende estabelecer está relacionado ao funcionamento da máquina proposta

pelo inventor. Note que, grosso modo, existem dois tipos diferentes de moto-perpétuo (ambos irrealizáveis):

- ▶ Moto-perpétuo de primeira espécie: apresenta criação efetiva de energia, ou seja, o trabalho realizado pela máquina é maior que a energia potencial inicial. Máquinas dessa espécie violam a primeira lei da Termodinâmica (conservação da energia).
- ▶ Moto-perpétuo de segunda espécie: não apresenta criação efetiva de energia e, portanto, não viola a primeira lei, mas pressupõe 100% de rendimento em todos os processos de transformação de energia envolvidos, o que viola a segunda lei da Termodinâmica.

A máquina proposta pelo inventor do texto é um moto-perpétuo de primeira espécie. No parágrafo 6, o autor do texto explica que a energia gerada pela queda de água será aproveitada em parte para a alimentação das residências e em parte para recolocar a água na mesma altura inicial, o que, evidentemente, viola a conservação da energia. Mas vale discutir o que ocorreria caso a parte da energia desviada para as residências não existisse. Se toda a energia elétrica gerada fosse utilizada apenas pela bomba hidráulica, a máquina funcionaria perpetuamente? Nesse caso, apenas se fosse possível obter 100% de rendimento em todos os processos envolvidos, o que jamais ocorre. Essa é uma oportunidade interessante para relacionar a degradação da energia com a irreversibilidade. Caso fosse possível fazer o invento funcionar, teríamos construído uma máquina perfeitamente reversível! A razão dessa reversibilidade reside no fato de termos um aparato inteiramente mecânico, cujo funcionamento não envolveria qualquer participação da energia térmica.

## Atividade 2

### 2.1. Objetivos

Propomos uma atividade cujo objetivo principal é situar o estudante do ensino médio nas questões da irreversibilidade dos processos naturais e da degradação da energia a partir da identificação atenta de regularidades em situações cotidianas. Uma vez que a segunda lei da Termodinâmica estabelece a seta do tempo, propomos inverter o sentido, a partir da edição de vídeos, e verificar que o sentido invertido não pode corresponder ao comportamento da Natureza.

Espera-se que emirjam da discussão entre os alunos duas conclusões. A primeira é a da necessidade da formalização de um conceito físico que dê conta da avaliação da “desordem” de um sistema no nível microscópico, tanto no aspecto espacial quanto no cinético. Esse conceito é a Entropia, que deve ser abordada cuidadosamente em atividades posteriores do curso de Física, associada à formulação microscópica da segunda lei da Termodinâmica, que postula que a Entropia de um sistema isolado não pode diminuir. A segunda conclusão é a da inevitabilidade da degradação da energia mecânica, evidentemente associada ao aumento da Entropia em um processo irreversível, e que se relaciona à formulação macroscópica da segunda lei: a ideia de que não é possível, em um sistema fechado, converter energia térmica em mecânica integralmente.

Supõe-se que estudos prévios de Mecânica e de Termodinâmica já tenham sido realizados pelos alunos. Conceitos como energia mecânica e sua conservação, energia interna, calor e a primeira lei da Termodinâmica devem ser familiares aos estudantes nesse estágio.

### 2.2. A atividade

Inicialmente, sugere-se a apresentação de uma sequência de cenas de vídeo para os estudantes organizados em grupos de três ou quatro componentes. As cenas são exibidas uma a uma e não como uma sequência contínua. Cada cena é apresentada em duas versões: uma no sentido natural do tempo e outra no sentido inverso. Sugere-se que os integrantes de cada grupo, no final de cada cena, estabeleçam uma discussão e identifiquem a versão “correta”, apontando as razões que levaram a essa escolha, e, em seguida, registrem suas conclusões por escrito respondendo algumas questões, propostas adiante no Material para o Aluno.

O papel do professor nessa etapa é estimular as discussões sem oferecer em nenhum momento a resposta com relação ao vídeo “correto”. Em muitos casos, o sentido natural é óbvio pela experiência cotidiana, mas o isolamento dos reais motivos que levam a sua identificação não o é! Cabe ao professor estimular a explicitação e o registro formal desses fatores pelos alunos, rejeitando o argumento da obviedade e do senso comum e fomentando um ambiente mais próximo daquele da investigação científica.

Após a exibição de todos os vídeos, cada grupo apresentará para os demais suas conclusões acerca de uma das cenas e comparará os resultados. Nesse ponto, seria interessante que o professor estimulasse os grupos a tentar estabelecer relações entre as cenas do vídeo e o texto sobre o moto-perpétuo.

### 2.3 Produção do vídeo

Há duas abordagens possíveis com relação à produção do vídeo: na primeira, o professor pede que cada grupo, previamente, produza um pequeno vídeo em casa, com o uso de um telefone celular ou uma câmera digital, que mostre algum fenômeno de seu cotidiano. O próprio professor pode, então, editar o conjunto de vídeos que será

utilizado em aula, com todos os grupos, posteriormente. Na segunda abordagem, o professor leva seu próprio vídeo para a sala e inicia a atividade. Se na primeira abordagem há o aspecto positivo do maior envolvimento dos estudantes na atividade, na segunda há a vantagem da escolha, pelo professor, de recortes do cotidiano que facilitem a discussão dos conceitos que desejamos abordar.

Para a presente proposta foi produzida uma sequência de oito cenas em vídeo para utilização na atividade. Todas as cenas estão disponibilizadas publicamente no *YouTube* nos seguintes *links*:

Vídeo completo	<a href="http://youtu.be/aWX1-awJ56c">http://youtu.be/aWX1-awJ56c</a>
Cena 1	<a href="http://youtu.be/3sNIRFIBu64">http://youtu.be/3sNIRFIBu64</a>
Cena 2	<a href="http://youtu.be/mkDoaRkAnvk">http://youtu.be/mkDoaRkAnvk</a>
Cena 3	<a href="http://youtu.be/CHcU98k6mCA">http://youtu.be/CHcU98k6mCA</a>
Cena 4	<a href="http://youtu.be/3XVfQCS4fSs">http://youtu.be/3XVfQCS4fSs</a>
Cena 5	<a href="http://youtu.be/EbKL9Xmgkdw">http://youtu.be/EbKL9Xmgkdw</a>
Cena 6	<a href="http://youtu.be/8YEAiq3_I9k">http://youtu.be/8YEAiq3_I9k</a>
Cena 7	<a href="http://youtu.be/8L-G5p9tQfU">http://youtu.be/8L-G5p9tQfU</a>
Cena 8	<a href="http://youtu.be/5wrkMQg-wO8">http://youtu.be/5wrkMQg-wO8</a>

Os vídeos foram produzidos com o objetivo de conectar fortemente a atividade ao ambiente cotidiano. Por essa razão, foram utilizados apenas objetos comuns filmados em um ambiente residencial. A captação foi feita utilizando-se apenas a câmera de um telefone celular, e a edição, um computador pessoal comum. Filmagem e edição são facilmente reproduzíveis por estudantes e professores. Outras filmagens, de outras situações igualmente interessantes do dia a dia, podem ser feitas. Qualquer *software* de edição de vídeo – há alguns gratuitos ou nativos em sistemas operacionais – apresenta a capacidade de inverter a passagem do tempo. Na maioria deles, tudo o que é necessário fazer é introduzir um sinal negativo no campo do tempo de duração.

## 2.4 Realização da atividade

A seguir apresentamos uma breve análise das cenas do vídeo produzido apontando as expectativas com relação a cada uma delas.

### ► Cena 1: Ovo



Figura 1: Ovo frito (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

A primeira cena mostra um ovo fritando em uma frigideira. O objetivo é apresentar ao aluno uma situação de fácil identificação com o cotidiano e na qual a identificação do sentido correto da passagem do tempo é óbvia. As discussões e interpretações da cena dependerão dos conhecimentos de Bioquímica dos alunos.

Sentido natural: versão 1.

### ► Cena 2: Gelo



Figura 2: Gelo em fusão (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

A segunda cena mostra um cubo de gelo que derrete sobre uma travessa metálica. Espera-se que o professor estimule a discussão sobre a possibilidade de promover o fenômeno inverso no interior de um *freezer*. É claro que a forma de cubo não seria refeita nesse caso e caberá uma discussão sobre a impossibilidade da

elevação espontânea da posição do centro de massa da água, que representaria ganho de energia mecânica.

Sentido natural: versão 2.

► **Cena 3: Café**



Figura 3: Café solúvel (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

Uma pequena quantidade de café solúvel é colocada no interior de um copo contendo água aquecida e gradualmente se dissolve e difunde pelo líquido. O objetivo é a identificação de dois estados – um mais e outro menos ordenado – do sistema e o reconhecimento de que o menos organizado é o mais provável e, portanto, deve representar o estado final. Essa é a primeira discussão no sentido do conceito de Entropia.

Para facilitar a percepção de um modelo microscópico pelos alunos, sugerimos a construção de um desenho que mostre a localização das partículas que compõem o café nos instantes iniciais e nos instantes finais do vídeo (*vide* Material para o Aluno).

Sentido natural: versão 2.

► **Cena 4: Spray**

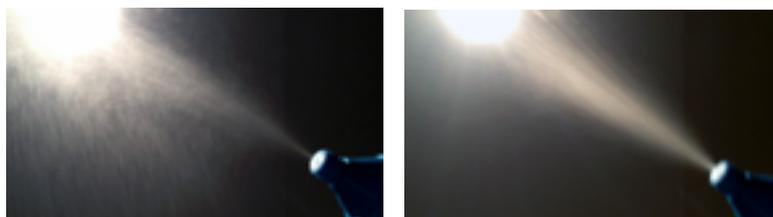


Figura 4: Desodorante spray (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

Um desodorante spray é pressionado algumas vezes e notamos as gotículas do líquido se espalharem pelo ar em câmera lenta. Observa-se que o movimento das gotículas é ordenado próximo à saída do frasco e fortemente aleatório em pontos mais distantes. Espera-se caracterizar a noção de desordem no sentido cinético e não apenas espacial.

Para estimular a superação da noção estritamente espacial de “desordem” e o reconhecimento de seu caráter cinético, pedimos (*vide* Material para o Aluno) a construção de um desenho que mostre uma representação das velocidades das gotículas de desodorante nos instantes iniciais e nos instantes finais do vídeo.

Sentido natural: versão 1.

► **Cena 5: Bola 1**



Figura 5: Primeira cena com a bola (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

Essa é a primeira de uma sequência de cenas cujo objetivo é estimular a discussão sobre a degradação da energia. Vemos uma pessoa quicando uma bola algumas vezes contra o solo. É possível observar que a velocidade média da bola na descida é superior à velocidade média na subida, identificando, a partir daí, o sentido correto da passagem do tempo. Espera-se que uma parcela significativa dos alunos não seja capaz de realizar corretamente a identificação. O professor não precisa interferir de nenhuma forma até a exibição da cena seguinte.

Sentido natural: versão 2.

► **Cena 6: Bola 2**

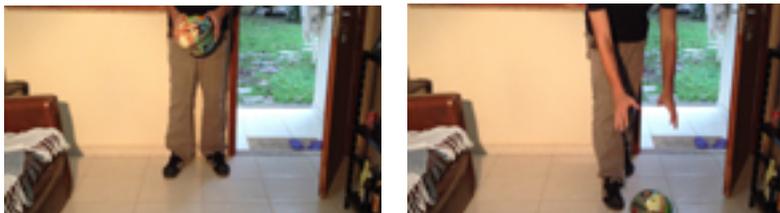


Figura 6: Segunda cena com a bola (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

Nessa cena, a mesma bola da cena anterior é abandonada uma única vez e repica no solo algumas vezes, atingindo alturas cada vez menores, até parar. Nesse caso, a identificação do sentido correto é mais direta, pois a degradação da energia se expressa visualmente nas perdas graduais nas alturas atingidas pela bola. Espera-se que a discussão fomentada por essa cena crie o desejo de revisão da cena anterior pelos grupos que apresentaram dificuldades com ela.

Sentido natural: versão 1.

► **Cena 7: Pêndulo 1**



Figura 7: Pêndulo de chumbo (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

Um pêndulo, composto por barbante e peso de chumbo, é abandonado a partir do repouso, oscila algumas vezes e é recolhi-

do aproximadamente na mesma posição inicial. Esse é um processo praticamente reversível, pois as perdas de energia mecânica em algumas poucas oscilações desse pêndulo não são significativas. Não é possível identificar o sentido correto da passagem do tempo no vídeo e espera-se que emirjam daí algumas boas discussões acerca da relação entre reversibilidade e conservação da energia mecânica.

Sentido natural: versão 2.

► **Cena 8: Pêndulo 2**



Figura 8: Pêndulo de papel (<http://youtu.be/aWX1-awJ56c>)

O pêndulo utilizado agora é composto por barbante e bolinha de papel e é deixado a oscilar até atingir o repouso. A degradação da energia salta aos olhos, assim como na Cena 6, e reforça a discussão nas relações com a Cena 7 exibida anteriormente.

Sentido natural: versão 1.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

2.1. Atividade 1: Texto adaptado do jornal *O Estado de São Paulo* de fevereiro de 2000.

*Ilha das Canárias, no Maranhão, vive o sonho do moto-contínuo*

Por: Rebeca Kritsch

ILHAS CANÁRIAS – Em uma das 80 ilhas do Delta do Parnaíba, entre os Estados do Maranhão e Piauí, o maranhense Pedro Oliveira Costa está tentando realizar um antigo sonho da humanidade: construir um motor contínuo. No sonho dele acreditaram a comunidade da ilha de Canárias e a prefeitura de seu município, Araiões, que juntas já investiram R\$ 30 mil no projeto.

“Acho a ideia meio antiga, mas se der certo é a salvação da Ilha de Canárias”, diz o secretário de Administração de Araiões, Rogério Fontenele Lima, de 43 anos. Atualmente a ilha recebe energia de um gerador.

O sistema idealizado por Costa, um mecânico autodidata, funciona com a força da água, armazenada em uma caixa com capacidade para 4.000 litros, a 13,5 metros de altura. Um cano de PVC despeja a água sobre a maior das rodas da engenhoca, com 6,5 metros de raio. Essa roda possui 47 canecas que podem receber, cada uma, 25 litros de água.

Carregadas sucessivamente, as canecas fazem a roda girar. Descem cheias e sobem vazias. O inventor calcula que, a partir de 20 canecas cheias, a roda passa a se mover sozinha.

A força do giro movimenta uma segunda roda, menor, ligada à primeira por uma correia. A segunda alimenta as subseqüentes do sistema. Ao todo são 13, de peso e tamanho diferentes, ligadas por 10 correias. Enquanto a roda grande completa um giro, a menor delas completa 250, segundo o inventor. “Estamos usando as duas forças mais poderosas do mundo”, explica. “A força da gravidade e a da alavanca.”

A energia resultante do movimento vai acionar um gerador. Ele vai alimentar a comunidade e uma bomba, que recolocará

a água despejada pelas canecas da roda grande na caixa. Essa bomba, segundo o inventor, tem força para colocar 250 mil litros de água por hora a 13,5 metros de altura.

“A roda de água na água funciona”, explica Costa, 53 anos. “Mas agora vamos fazer no lugar seco”.

**Nem em filme!**

Por enquanto, a ideia nem nos filmes funcionou. Em *Kenoma*, de Eliane Caffé, José Dumont acalenta sonho semelhante. Ele interpreta Lineu, que dedica a vida à tentativa de tornar viável o moto-perpétuo.

Visíveis do porto da ilha, as rodas de Costa de fato parecem saídas da ficção. A maior, já pintada de prateado, destaca-se inesperada entre a vegetação e as casas simples dos pescadores. A obra é o orgulho e a esperança dos moradores, os primeiros a acreditar no inventor. Para tirar a ideia do papel, juntaram entre eles R\$ 4 mil. A partir daí, a prefeitura resolveu financiar o experimento. Se funcionar, pode resolver um dos principais problemas de Araiões: o déficit de energia, fornecida para a cidade pelo Piauí.

“Quem diz que não vai funcionar é porque a fé é pouca”, diz Maria das Dores Oliveira, de 72 anos, que cedeu parte de seu quintal para a obra. “Vai ser uma energia de outro mundo”, entusiasma-se o filho dela, Antônio Clurete, de 34 anos, zelador do posto de saúde de Canárias.

Costa levou mais de 15 anos para convencer alguém a financiar o projeto. Ele teve a ideia de criar o moto-contínuo em 1983, quando perdeu uma safra de feijão por falta de água. Queria montar um sistema de irrigação alimentado por uma fonte de energia economicamente viável. Petróleo ou eletricidade convencional

era muito caro. Começou, então, a desenvolver seu modelo com a ajuda de físicos, matemáticos e professores universitários, consultados quando havia chance.

### Só dar a partida!

O inventor diz ter estudado os erros e acertos dos inventores que já tentaram construir o moto-contínuo e, por isso, dessa vez, a ideia ia funcionar: “Só vai precisar dar a partida”. Entre seu material de pesquisa ele guarda até mesmo um desenho de um dos primeiros modelos de moto-contínuo da história da humanidade, desenvolvido há 400 anos.

“É a invenção mais pesquisada do mundo inteiro”, diz Costa. “Mas os antigos nunca conseguiram porque não tinham o que existe hoje.” A bomba hidráulica, por exemplo. Disse o inventor: “O que era o mundo há 400 anos?!”.

Antes de executar a obra de Canárias, Costa produziu pequenos protótipos para demonstrar o princípio, com rodas de no máximo 3,6 metros de diâmetro. Ele conseguiu colocar as miniaturas em funcionamento, mas nenhuma delas gerou energia. “Não deram força porque eram pequenas”, justifica. “Não dá para usar a mesma alavanca para levantar um fusca e uma carreta”, argumenta.

O segredo de seu motor contínuo, segundo Costa, é justamente a dimensão do sistema. “Nunca tentaram usar a força da alavanca e da gravidade com uma roda de raio tão grande”, garante. Se o experimento der certo, ele pretende partir para proporções ainda maiores.

### Rodízio

O moto-contínuo hidráulico de Canárias está quase pronto. A obra começou em fevereiro de 1999. Dez homens ajudaram Cos-

ta a erguer a estrutura. “Fui marceneiro, encanador, eletricista, torneiro, soldado e bombeiro”, conta. “Só assim para fazer aquela máquina.” Agora ele dá os retoques finais na pintura e aguarda a chegada do gerador, prometido para essa semana.

O inventor diz ter pedido um gerador de 120 kWAs, o qual, segundo ele, é suficiente para abastecer as 300 casas da ilha mais a população do Delta do Parnaíba, com 2.000 habitantes.

O atual gerador de energia de Canárias é de 40 kWAs, segundo Antônio José Reis, de 52 anos, líder da comunidade. A prefeitura envia de barco, a cada 15 dias, 500 litros de diesel para alimentá-lo. Os moradores nada pagam.

A produção atual é insuficiente. A oferta obriga os habitantes a fazer rodízio. Uma noite é a metade mais próxima do Piauí que recebe energia, das 18 às 22 horas. Na noite seguinte é a outra metade, apelidada de Maranhão. Quase ninguém tem geladeira – ao todo, na ilha, há 12 movidas a gás. Mas aparelho de TV e uma parabólica quase todos têm.

### (...) Será mais um (...)

Reis torce pelo sucesso da invenção de Costa: “Canárias precisa muito de energia”. Mas diz que só acreditará no invento quando a máquina funcionar. “Eu confio e desconfio, porque nunca vi um negócio desses”.

E se o moto-contínuo não funcionar? “Se não der certo fica para museu”, diz Reis. “E teremos mais um inventor fracassado”.

### QUESTÕES

1. Se você fosse morador da ilha, incentivaria o projeto com ajuda financeira?

a) Caso afirmativo, por que?

b) Caso negativo, por que?

2. Caso o objetivo da máquina fosse apenas manter a roda em movimento e não fornecer energia elétrica às residências, poderia funcionar? Por que?

## Atividade 2

Observe algumas cenas que serão agora exibidas em vídeo. Cada cena será apresentada em duas versões, mas em uma delas há algo errado. Procure identificar, em cada caso, qual é a versão correta. Discuta com seus colegas e apresente também as razões que levaram você à identificação.

CENA 1	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

CENA 2	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

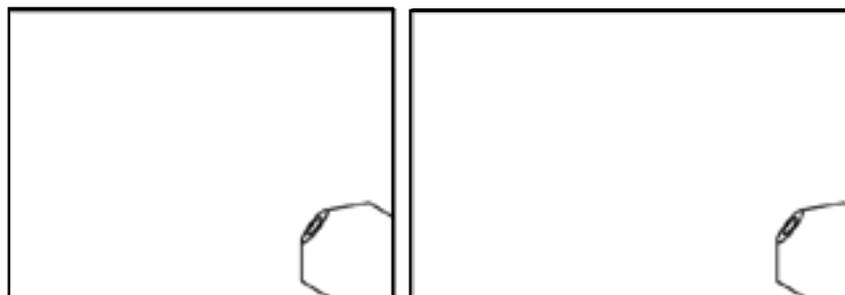
CENA 3	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

Represente nas figuras abaixo algumas partículas que compõem o café (bolas pretas) e algumas que compõem a água (bolas brancas) nos instantes iniciais e finais da filmagem.

Instantes Iniciais	Instantes Finais

CENA 4	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

Represente nas figuras abaixo algumas gotículas do desodorante e indique com setas a direção e o sentido do movimento de cada uma delas nos instantes iniciais e finais da filmagem.



Instantes Iniciais

Instantes Finais

CENA 5	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

CENA 6	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

CENA 7	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

CENA 8	
Versão correta:	(1) (2)
Razões da escolha:	

Você consegue estabelecer uma relação entre os vídeos a que assistimos e o texto sobre a construção do moto-perpétuo na ilha de Canárias?

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN + ensino médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais; Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

KRITSCH, R. Ilha das Canárias, no Maranhão, vive o sonho do moto-contínuo. *O Estado de São Paulo*, São Paulo, caderno especial: Descobrimo o Brasil, p. D10-11, 13 fev. 2000.

MENEZES, L. C. *A matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico*. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

SANTOS, Z. T. S.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. Uma perspectiva histórica e epistemológica para o ensino de entropia no ensino médio. *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba/PR, 2008. Comunicação Oral. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/sys/resumos/T0097-1.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2012.

VIARD, J. *Using the history of Science to Teach Thermodynamics at the University level: The Case of the Concept of Entropy*. 2005. Disponível em: <<http://www.ihpst2005.leeds.ac.uk/papers/Viard.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2012.

**Autor: Carlos Frederico Marçal Rodrigues**

Este trabalho é parte do projeto de dissertação de mestrado do autor no programa Mestrado Profissional em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEF/IF/UFRJ). O projeto estava em andamento no momento da publicação desta obra.

Atualmente, o autor leciona no Colégio Pedro II e no Colégio Tereziانو.

## Capítulo 7

# EFEITO ESTUFA

*Leandro Nascimento Rubino*

### INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um tema pouco explorado no ensino médio. Utilizando o aquecimento global como tema organizador, propomos uma abordagem didática na qual os conceitos físicos de emissão, reflexão, absorção de energia radiante e ressonância são apresentados como consequência da necessidade do entendimento do fenômeno a ser estudado. Os problemas e questões ambientais, em evidência atualmente, quando tratados em sala de aula, podem proporcionar atividades adequadas às propostas oficiais, as quais podem desenvolver nos alunos as habilidades de compreensão, de reflexão e de tomada de decisões sobre questões que envolvem a ciência na sociedade.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

Este material descreve uma proposta metodológica traduzida na forma de sequência didática que objetiva auxiliar o trabalho do professor em sala de aula. Cada professor pode adaptar as atividades propostas a sua realidade de trabalho. Assim, entendemos que a proposta não precisa ser utilizada como um roteiro hermético, e sim de forma maleável, mas sempre visando a abordagens de enfoque CTS e a atividades investigativas.

O professor deve estar atento às palavras ou termos técnicos que aparecem nos textos e que podem provocar dúvidas nos alunos, colaborando para o desenvolvimento da compreensão na leitura feita pelos estudantes. Não basta pedir aos alunos que leiam os textos, a discussão deve estar sempre presente.

As atividades propostas em nosso material estão fundamentadas na pesquisa de Koulaidis e Christidou (1999) sobre as concepções prévias dos estudantes a respeito do efeito estufa. Os autores identificaram as principais concepções errôneas apresentadas pelos estudantes em seu artigo, como, por exemplo:

- I. a tendência de entender e interpretar o efeito estufa como um problema ambiental, ignorando o fato de esse fenômeno ser um mecanismo natural importante;
- II. o efeito estufa é atribuído somente à radiação emitida pelo Sol, ignorando a radiação emitida pela Terra;
- III. os gases do efeito estufa permitem que o “calor” do Sol atravesse a atmosfera, mas não deixam que o “calor” escape para o espaço.

A partir dessas concepções levantadas por Koulaidis e Christidou (1999), elaboramos atividades que podem ser úteis na construção dos conceitos físicos necessários para o entendimento do efeito estufa.

Este material foi produzido considerando-se que os estudantes estão familiarizados com os conceitos de calor, temperatura, condução e convecção de calor.

O material dedicado ao aluno é composto de seis unidades, formando uma sequência didática, que contempla os conteúdos de Física necessários para o entendimento do fenômeno do efeito estufa. Vale ressaltar que todas as atividades serão realizadas com os alunos divididos em grupos de cinco pessoas.

A unidade 1 tem como principal objetivo a contextualização e a problematização do tema aquecimento global. Não se espera que, no final das atividades aqui sugeridas, os estudantes já tenham desenvolvido os conhecimentos técnico-científicos minimamente necessários para argumentar com desenvoltura sobre o assunto. Nessa etapa, as perguntas formuladas e toda a argumentação serão, majoritariamente, baseadas em ideias do senso comum trazidas pelos estudantes e/ou subsidiadas pelos textos que possuem caráter meramente informativo. As atividades dessa unidade estão divididas em duas etapas: reflexão inicial sobre o aquecimento global e leitura dos textos para o desenvolvimento do jogo.

A unidade 2 pretende dar continuidade às discussões iniciadas na unidade anterior em direção à construção de conceitos que subsidiem argumentações mais consistentes do ponto de vista científico, problematizando a questão do efeito estufa. É importante que o professor faça a distinção entre o efeito estufa natural e o efeito antropogênico. Aqui introduziremos o fenômeno da radiação térmica, através da leitura de um texto, utilização de questões abertas (CARVALHO *et al.*, 1999) e apresentação de vídeos retirados da internet. Pretendemos, com o uso dos vídeos 1 (Figura 1) e 2 (Figura 2), mostrar aos alunos que todos os corpos emitem radiação, mesmo que ela não seja visível aos nossos olhos.



Figura 1: Radiação emitida pelo corpo humano.

Fonte: [www.youtube.com/watch?v=\\_WP2XwBhmAk](http://www.youtube.com/watch?v=_WP2XwBhmAk)  
Acesso em: 24 ago. 2012.



Figura 2: Câmera de visão noturna.

Fonte: [www.youtube.com/watch?v=M04-wa\\_e1Wg](http://www.youtube.com/watch?v=M04-wa_e1Wg)  
Acesso em: 24 ago. 2012.

Na unidade 3 utilizaremos a Lei de Stefan-Boltzmann, que relaciona a energia irradiada por unidade de área de um corpo negro com a quarta potência da temperatura absoluta do corpo ( $R^e = A \cdot \sigma \cdot T^4$ ) para calcular a temperatura média terrestre na ausência do efeito estufa. Além disso, discutiremos, através de uma atividade investigativa (CARVALHO *et al.*, 1999), uma aplicação da radiação térmica: a garrafa térmica.

Na unidade 4 exploraremos o fenômeno da radiação térmica através de uma atividade experimental, que envolve a construção pelos alunos de um coletor solar.

Na unidade 5 serão estudados os conceitos de vibração forçada, de frequência natural e de ressonância, necessários para a compreensão do fenômeno do efeito estufa. Para tal, serão utilizados um vídeo retirado da internet (Figura 3), intitulado *Ressonância acústica*, e um texto que discute o fenômeno da ressonância nas moléculas do efeito estufa na atmosfera terrestre. Espera-se que, com o auxílio do professor, os alunos possam verificar, através do vídeo, a importância do fenômeno da ressonância na explicação do efeito estufa.



Figura 3: Ressonância acústica.

Fonte: [http://www.youtube.com/watch?v=qy1c5\\_vYTVo](http://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo)  
Acesso em: 24 ago. 2012.

Na unidade 6 será proposto um debate simulado (VIEIRA e BAZZO, 2007). Essa atividade tem como um de seus objetivos fazer que os alunos desenvolvam e aprimorem a argumentação, uma vez que consideramos essa habilidade uma das mais importantes no estudo de ciências. Buscamos também fazer um fechamento das atividades, visto que, para a realização dessa etapa, os alunos precisarão ter tido um bom aproveitamento nas etapas anteriores.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### UNIDADE 1: Refletindo sobre o aquecimento global

Vamos iniciar procurando refletir sobre o que sabemos em relação ao aquecimento global. Para isso, a turma deverá se organizar em grupos de cinco alunos, que trabalharão de forma colaborativa, ao longo das atividades aqui propostas.

#### 1.1. Cada grupo responde a seguinte pergunta: o que é o aquecimento global?

#### 1.2. Jogo interativo

A partir de um sorteio, será escolhido um grupo para elaborar perguntas relacionadas aos Textos 1 e 2 a um dos outros grupos. O grupo escolhido para responder as perguntas poderá fazê-lo ou passar a vez para outro grupo (que será sorteado pelo professor). Cada grupo deverá elaborar duas ou três perguntas para o grupo escolhido.

O grupo que elaborou as perguntas pode aceitar ou não as respostas dadas, justificando as recusas, sendo permitido, portanto, réplica e tréplica.

No final de cada etapa de perguntas e respostas, um novo grupo deve ser sorteado para elaborar perguntas para outro grupo. Todos os grupos devem elaborar e responder o mesmo número de perguntas, de forma que o grupo vencedor será aquele que, no final da atividade, conseguir conquistar mais pontos.

Obs.: o voto de Minerva em um possível impasse entre os grupos é do professor.

Pontuação:

- ▶ Resposta correta: 2 pontos
- ▶ Resposta incompleta: 1 ponto
- ▶ Resposta errada: 0 ponto

**Texto 1:** Aquecimento global estimula guerras na África, diz estudo

Uma nova desgraça foi acrescentada aos futuros malefícios do aquecimento global. Além de poder causar declínio na produção de alimentos e aumentar o nível do mar, a mudança no clima também vai incentivar mais guerra na África.

Baseado na história recente de conflitos e temperatura, um estudo feito por pesquisadores nos Estados Unidos indica que, em 2030, a incidência de conflitos na África ao sul do deserto do Saara será 54% maior, resultando em adicionais 393 mil mortes em combate.

“Nós certamente não alegamos que todas as guerras estão vinculadas ao clima, ou que o clima é a causa única de qualquer guerra. Tudo que dizemos é que, em média, as guerras civis na África historicamente têm muito mais probabilidade de ocorrerem em anos quentes, e que o aquecimento futuro poderá aumentar a probabilidade dessas guerras”, disse à *Folha* o principal autor do estudo, Marshall Burke, da Universidade da Califórnia em Berkeley.

#### *Crise no campo*

Mas como o calor ajudaria a causar guerras tão diferentes entre si como a luta entre as tribos tutsis e hutus em Ruanda ou a guerra civil no Sudão?

“Nós acreditamos que o mecanismo ligando clima e conflito seja a produtividade agrícola. A maioria dos estudos recentes sobre causas de conflito mostrou que o conflito está intimamente relacionado com a crise econômica; na África, as economias estão diretamente ligadas à produtividade agrícola; e nós sabemos que a produtividade agrícola é muito sensível a mudanças na temperatura”, argumenta Burke. A equipe de cinco pesquisadores lembra no artigo que a agricultura responde por mais de 50% dos produtos internos brutos dos países africanos e é responsável por até 90% dos empregos em muitos deles. E para cada grau Celsius de aumento de temperatura, a produtividade de culturas básicas diminui entre 10% e 30%. Eles notaram que, no período estudado, cada grau de aumento na temperatura correspondia a um aumento de 4,5% nos conflitos no mesmo ano.

“Declínios na produtividade agrícola induzidos pela temperatura devem estar associados com aumento de conflito. Isso é apoiado por evidências subjetivas em boa parte da África, como os conflitos no Mali, Níger e partes do Chifre da África a leste, mas, repito, não queremos atribuir nenhuma guerra em particular a apenas uma causa”, continua o pesquisador.

Entre os cenários contemplados no estudo está um mais “otimista”, que também inclui no modelo um crescimento econômico *per capita* de 2% e níveis de democratização semelhantes aos do período estudado. “Nós descobrimos que nenhum dos dois é capaz de superar os grandes efeitos do aumento de temperatura na incidência de guerra civil”, escreveram os autores no artigo na “PNAS”.

“O último elemento em nossa defesa é que nós tentamos controlar cuidadosamente as características individuais de cada país – quão ricos ou pobres eles são, quão democráticos eles são – e, mesmo controlando essas variáveis, o forte sinal da temperatura permanece”, afirma Burke.

(BONALUME, Ricardo Neto. *Folha de S. Paulo*. Disponível em: [www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u660747.shtml](http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u660747.shtml). Acesso em: 6 dez. 2009.)

## Texto 2: Crise reduz emissão de gás-estufa

A recessão global resultou na maior redução da emissão de gases-estufa em ao menos quatro décadas, criando uma “oportunidade única” para afastar o mundo do padrão de crescimento baseado em carbono, segundo a AIE (Agência Internacional de Energia, ligada à ONU).

No primeiro grande estudo do impacto da crise nas mudanças climáticas, a AIE descobriu que as emissões de dióxido de carbono a partir da queima de combustíveis fósseis sofreram uma “significativa queda” neste ano – mais do que qualquer período nos últimos 40 anos. A desaceleração da produção industrial é uma das responsáveis pela diminuição do gás carbônico, mas outros fatores contribuíram, como a suspensão de projetos de usinas a carvão.

Pela primeira vez, as políticas públicas para cortar emissões tiveram impacto importante. A AIE estima que um quarto da baixa resulte da regulação, uma proporção “sem precedentes”, diz o relatório. Três iniciativas tiveram especial efeito: a meta da União Europeia de reduzir as emissões em 20% até 2010; os padrões para as emissões de automóveis fixados pelos EUA; e as políticas de eficiência energética da China.

Fatih Birol, economista-chefe da AIE<sup>18</sup>, disse que a queda foi “surpreendente” e torna “muito menos difícil” atingir as reduções que os cientistas apontam ser necessárias para evitar um perigoso aquecimento global. “Temos uma nova situação com as mudanças na demanda por energia e o adiamento de muitos investimentos na área”, disse Birol. “Mas isso apenas tem significado se pudermos fazer uso dessa janela de oportunidade única. (Isso significa) um acordo em Copenhague.”

(FINANCIAL TIMES, *Folha de São Paulo*, 21 de setembro de 2009)

<sup>18</sup> A Agência Internacional de Energia (AIE) é uma organização internacional que atua como assessora de política de energia para 28 países-membros em seus esforços para garantir preços acessíveis, confiáveis e limpas de energia para seus cidadãos.

1.2.1. No final do jogo, após a leitura dos dois textos, os grupos respondem as seguintes perguntas:

- I. Descreva com suas palavras o que é o aquecimento global.
- II. Descreva com suas palavras o que é o efeito estufa.
- III. Como estão relacionados o aquecimento global e o efeito estufa?

## UNIDADE II: Efeito estufa: benéfico ou maléfico?

2.1. Na unidade anterior, iniciamos algumas discussões sobre aquecimento global e efeito estufa. Podemos afirmar que o efeito estufa é um fenômeno maléfico para o planeta Terra? E se não houvesse o efeito estufa, como seria a vida na Terra?

2.2. A partir da leitura do texto a seguir – *Como consertar o clima* –, cada grupo responderá as questões acima.

### Texto 3: Como consertar o clima

Por séculos, exploradores tentaram sem sucesso encontrar um caminho do Atlântico ao Pacífico pelo norte gelado. A fome e o escorbuto rondavam os marinheiros, e a passagem nunca foi encontrada. No entanto, daqui a 40 anos ou menos é provável que o aquecimento global torne realidade o sonho dos navegadores daquela época. Uma rota comercial efetivamente se abrirá ao norte, competindo com o canal do Panamá. As novas rotas de navegação no Ártico, entretanto, estariam entre os poucos efeitos positivos da mudança acelerada no clima. Outras consequências, como o derretimento das geleiras, perturbações na

corrente do Golfo e ondas recorde de calor, beirariam a catástrofe, causando enchentes, doenças, furacões e secas.

Os níveis atuais de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) – cerca de 400 partes por milhão (ppm) na atmosfera terrestre – são maiores do que em qualquer outra época nos últimos 650 mil anos pelo menos, e atingirão 530 ppm em 2050 se não houver intervenção radical.

Os gases do efeito estufa são na verdade necessários. O vapor de água, o dióxido de carbono e o metano impedem que parte da energia recebida do Sol seja totalmente reemitida de volta para o espaço, mantendo a temperatura da atmosfera confortável tanto para protozoários quanto para seres humanos. Mas o excesso, em particular de dióxido de carbono emitido por automóveis e usinas termoelétricas, faz os termômetros subirem gradualmente. Dentre os 20 anos mais quentes já registrados, quase todos ocorreram da década de 1980 para cá. Evitar que a estufa atmosférica se transforme em sauna será provavelmente o desafio científico e técnico mais formidável que a humanidade já enfrentou.

A mudança climática torna forçosa a reestruturação maciça da matriz energética mundial. A preocupação com a oferta de combustíveis fósseis só alcança proporções críticas quando se leva em conta a proteção do clima. Mesmo se em breve a produção de petróleo começasse a declinar, o carvão poderia suprir o mundo por pelo menos mais um século. Mas esses dois combustíveis, que respondem por 80% do consumo mundial de energia, se tornarão um fardo se não houver limitação da emissão de carbono. Talvez uma revolução nas baterias solares inicie uma era fotovoltaica, permitindo que uma única fonte de energia seja usada tanto por telefones celulares quanto por usinas siderúrgicas. Mas se isso não ocorrer – o que é provável –, será necessário empregar diversas alternativas ao mesmo tempo (como biocombustíveis, energia solar, hidrogênio e energia nuclear) para descartar o uso do carbono.

(Texto adaptado de STIX, G. *Scientific American Brasil*, jan. 2006. p. 26-29)

2.3. Questão aberta: o que acontecerá com a temperatura da sala de aula se eu desligar o ar-condicionado e mantiver a porta e as janelas fechadas?

2.4. Questão aberta: o texto afirma que a Terra recebe energia do Sol e que os gases estufa são responsáveis por manter a temperatura da Terra confortável para a vida dos seus habitantes. De que forma a energia do Sol chega até a Terra? Podemos relacionar esse fenômeno com a solução da questão 2.3?

2.5. Apresentação dos seguintes vídeos: Infrared Man Whole Body (Disponível em: [www.youtube.com/watch?v=\\_WP2XwBhmAk](http://www.youtube.com/watch?v=_WP2XwBhmAk)) e Câmera de Visão Noturna Automotiva (Disponível em: [www.youtube.com/watch?v=M04-wa\\_e1Wg](http://www.youtube.com/watch?v=M04-wa_e1Wg)).

2.5.1. Questão sobre o vídeo: como é possível observar o calor emitido pelos corpos? Por que não enxergamos essa radiação térmica?

### UNIDADE III: Qual é a temperatura média da Terra?

3.1. Na unidade anterior, observamos através dos vídeos “Infrared man whole body” e “Câmera de visão noturna automotiva” que qualquer corpo que esteja acima do zero absoluto emite radiação térmica. De que parâmetros depende a radiação térmica emitida pelos corpos? É possível estabelecermos uma relação matemática entre a radiação emitida pelo corpo e sua temperatura? Como determinar a temperatura superficial da Terra na ausência do efeito estufa?

### 3.2. Compreendendo o funcionamento de uma garrafa térmica

3.2.1. De posse da garrafa térmica, procure separar seus componentes, observando-os, e descreva a função desses componentes e seu funcionamento.

### *Processos de transferência de calor:*

#### ▶ Condução térmica

Quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato, as moléculas do corpo mais quente, colidindo com as moléculas do corpo mais frio, transferem energia para este. Esse processo de transferência de calor é denominado condução.

#### ▶ Convecção térmica

Esse processo de transferência de calor ocorre nos fluidos (líquidos e gases), em razão da diferença de densidade entre as partes dele. Podemos citar, como exemplo, o aparelho de ar-condicionado: ele deve ser instalado na parte superior de um quarto, uma vez que o ar frio lançado por este (mais denso) tende a descer, e o ar quente presente no quarto (menos denso) tende a subir.

#### ▶ Radiação térmica

O processo de emissão de ondas eletromagnéticas é chamado de radiação. Todos os corpos emitem radiação (visível ou não), cujas características e intensidade dependem do material de que é feito o corpo e de sua temperatura. É por radiação que o calor liberado pelo Sol chega até a Terra.

### UNIDADE IV: Atividade experimental – A construção do coletor solar

João comenta com um amigo que a casa onde mora é muito quente por causa do excesso de energia solar recebido ao longo do dia. O amigo, então, aconselha João a trocar a cor das paredes internas e externas de branco para preto. Será que o problema de João será amenizado, ou mesmo resolvido?



Figura 4: Coletor solar

#### 4.1. Construção de um coletor solar

Material necessário para a atividade:

- ▶ Duas caixas de papelão de mesmo tamanho (sem tampa);
- ▶ Papel filme para tampar as caixas;
- ▶ Tinta preta ou cartolina preta para cobrir o interior de uma das caixas;
- ▶ Tinta branca ou cartolina branca para cobrir o interior da outra caixa;
- ▶ Dois termômetros para medir a temperatura do interior das caixas;
- ▶ Duas folhas de papel milimetrado.

4.1.1. Relatório: os grupos deverão construir dois gráficos em papel milimetrado que relacionam as variáveis Temperatura *versus* Tempo. Além disso, deverão responder as seguintes perguntas:

- I. Em intervalos de tempos iguais, qual das caixas atinge maior temperatura?
- II. Que papel você atribui à cor das caixas?
- III. Em um dia de Sol forte, o que é mais confortável: a utilização de roupas de cor clara ou escura? Justifique sua resposta.
- IV. Qual é a função do papel filme no experimento?

#### Emissão e absorção de energia

Podemos fazer uma estimativa da temperatura da Terra caso não houvesse o efeito estufa, utilizando a Lei de Stefan-Boltzmann, que relaciona a radiação emitida por um corpo com sua temperatura. Em geral, a forma detalhada do espectro emitido depende da composição do corpo emissor. Mas existem corpos conhecidos como corpos negros ideais que emitem um espectro de caráter universal.

O corpo negro absorve toda radiação que nele incide, isto é, sua absorvidade é igual a 1 ( $a = 1$ ) e sua refletividade é nula ( $r = 0$ ), decorrendo desse último fato seu nome (negro). Todo absorvente é bom emissor. Logo, o corpo negro, além de absorvedor ideal, é também um emissor ideal. Sua emissividade é igual a 1 ( $e = 1$ ). Um corpo negro, independentemente do material com que é confeccionado, emite radiações térmicas com a mesma intensidade, a uma dada temperatura e para cada comprimento de onda. A expressão matemática que traduz a dependência entre a quantidade de radiação emitida ( $R_e$ ) e a temperatura do corpo negro ( $T$ ) é conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann:  $R_e = A \cdot \sigma \cdot T^4$

onde:

$R_e$  = radiação energética total emitida,

$A$  = área do corpo,

$\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  (constante de Stefan-Boltzmann) e

$T$  = temperatura do corpo negro.

Podemos tratar o problema do aquecimento da Terra utilizando o modelo de Stefan-Boltzmann com algumas aproximações, já que a Terra não é um corpo perfeitamente negro. No equilíbrio térmico, a potência irradiada ou emitida por um objeto é igual à potência que ele absorve, na forma de radiação, dos objetos vizinhos.

► Radiação total emitida pelo Sol:

$R_{\text{sol}} = A_{\text{Sol}} \cdot \sigma \cdot T_{\text{Sol}}^4$ , onde  $A_{\text{Sol}} = 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{S}}^2$  ( $R_{\text{S}}$  = raio do Sol).

► Radiação total absorvida pela Terra:

$R_{\text{abs. Terra}} = R_{\text{Sol}} \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot D^2) \cdot A_{\text{Terra}} \cdot 0,85$ , onde  $A_{\text{Terra}}$  (disco) =  $\pi \cdot R_{\text{T}}^2$  ( $R_{\text{T}}$  = raio da Terra),  $D$  = distância do Sol até a Terra e 0,85 (85%) é o percentual aproximado da radiação que incide na superfície da Terra.

► Radiação total emitida pela Terra:

$R_{\text{emit. Terra}} = A_{\text{Terra}} \cdot \sigma \cdot T_{\text{Terra}}^4$ , onde  $A_{\text{Terra}}$  (esfera) =  $4 \cdot \pi \cdot R_{\text{T}}^2$  ( $R_{\text{T}}$  = raio da Terra).

► No equilíbrio térmico:

$$R_{\text{emit. Terra}} = R_{\text{abs. Terra}} \quad T_{\text{Terra}} = (1/2) \cdot T_{\text{Sol}} \cdot (2 \cdot R_{\text{Sol}} / D)^{1/2}$$

$$T_{\text{Terra}} \sim 253 \text{ K} \sim -20^\circ\text{C}$$

Portanto, caso não existisse o efeito estufa, a temperatura média global da Terra seria da ordem de  $-20^\circ\text{C}$ . Estima-se que o efeito

estufa que ocorre naturalmente é responsável pelo aquecimento da Terra em cerca de aproximadamente  $33^\circ\text{C}$ .

## UNIDADE V: O fenômeno do efeito estufa – um processo de ressonância na atmosfera terrestre

5.1. A atmosfera terrestre exerce um papel muito importante na regulação da temperatura em nosso planeta. Contudo, somente alguns poucos gases são responsáveis por tal efeito. A partir da observação do vídeo Ressonância acústica (disponível em [www.youtube.com/watch?v=qy1c5\\_vYTVo](http://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo)) e da leitura do texto Ressonância nas moléculas do efeito estufa, descreva o processo de retenção dessa energia na atmosfera terrestre.

### 5.2. Ressonância nas moléculas do efeito estufa

Quando a frequência da vibração forçada de um objeto se iguala à frequência natural dele, ocorre um dramático aumento da amplitude, ou seja, se pensarmos em uma criança brincando em um balanço, a amplitude é dada pela distância entre a posição inicial de repouso (balanço parado na vertical) e a posição mais afastada da posição inicial.

No caso do efeito estufa, as radiações provenientes do Sol, principalmente na faixa do visível (alta energia), quando chegam até a Terra são absorvidas e reemitidas na forma de infravermelho (baixa energia). Essa radiação que é emitida pela superfície da Terra é absorvida pelos gases do efeito estufa presentes na atmosfera ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio) e novamente reemitida para a atmosfera. Essas moléculas triatômicas (Figura 5) dos gases estufa presentes na atmosfera são eficientes na absorção de radiação infravermelha porque apresentam diferentes

modos de vibração em resposta à radiação térmica, ou seja, essas moléculas são capazes de entrar em ressonância com diferentes valores de frequência da radiação infravermelha, enquanto as moléculas diatômicas do  $N_2$  e do  $O_2$  (Figura 6) possuem apenas um modo de vibração possível (HOBSON, 1998).



Figura 5: Modelo de molécula triatômica.

Figura 6: Modelo de molécula diatômica.

Assim, a radiação infravermelha, que realmente não escapa da atmosfera terrestre, ajuda a mantê-la aquecida. Esse processo é extremamente importante, pois sem ele a Terra seria gélida – cerca de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Nosso problema ambiental atual é que o excesso de dióxido de carbono e outros dos assim chamados “gases do efeito estufa” retêm energia a mais e tornam a Terra quente demais. Portanto, parte do efeito estufa pode ser precisamente o que a Terra necessita para prevenir uma próxima idade do gelo. Mas ainda não dispomos de informações suficientes a respeito para termos certeza. O efeito estufa atmosférico recebeu esse nome a partir das estufas de vidro usadas pelos fazendeiros e floristas para “prender” a energia solar. O vidro é transparente às ondas da luz visível, mas opaco às radiações ultravioleta e infravermelha. O vidro atua como uma espécie de válvula unidirecional. Ele permite que a luz visível entre na estufa, mas impede os comprimentos de onda mais longos de deixá-la. Assim, os comprimentos curtos de onda da luz solar atravessam o telhado de vidro da estufa e são absorvidos pelo solo e pelas plantas em seu interior. O solo e as plantas, por sua vez, emitem ondas de infravermelho com longos comprimentos de onda. Essa energia não consegue atravessar o vidro e sair, o

que aquece o interior da estufa. Curiosamente, nas estufas de plantas, o calor é mantido principalmente pela habilidade do vidro de impedir que as correntes de convecção misturem o ar mais frio do exterior com o ar mais quente do interior.

Um mito comum é que o teto de vidro ou de plástico de uma estufa retém de algum modo a radiação térmica. Infelizmente, como a expressão efeito estufa é muitas vezes aplicada à retenção de radiação térmica pela atmosfera terrestre, esse tipo de retenção é associado erroneamente às estufas (WALKER, 2008).

## UNIDADE VI: Avaliação final

### 6.1. Júri simulado

A turma será dividida em dois grupos:

- ▶ Um grupo será responsável pela defesa dos países que defendem a queda na emissão dos gases estufa, ou seja, países que buscam um desenvolvimento econômico sustentável.
- ▶ Um grupo será responsável pela defesa dos países que defendem uma economia altamente industrializada, mesmo que, para isso, as emissões de gases estufa sejam elevadas.

**6.2. Desenvolvimento do debate:** cada grupo terá 10 minutos para expor suas ideias. Após a argumentação dos dois grupos, cada grupo elaborará duas perguntas para o outro grupo. Essas perguntas devem ser elaboradas em um minuto e o grupo a responder terá três minutos para respondê-las.

**6.3. Fechamento da atividade:** cada aluno deverá redigir um texto de 20 linhas que resuma o fenômeno do efeito estufa em nosso planeta. Caso julgue necessário, utilize um desenho ou esquema para auxiliar na explicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, A.M.P.; SANTOS, E.I.S.; AZEVEDO, M.C.P.S.; DATE, M.P.S.; FUJII, S.R.S.; NASCIMENTO, V.B.; Termodinâmica: um ensino por investigação. USP - Faculdade de Educação, 1999.

HOBSON, A., Physics: Concepts and Connections; 2nd ed., 1998. Infrared man whole body. Disponível em [www.youtube.com/watch?v=Ou2\\_tPONF0Y](http://www.youtube.com/watch?v=Ou2_tPONF0Y)

KOULAUDIS, V.; CHRISTIDOU, V. Models of Students' Thinking Concerning the Greenhouse Effect and Teaching Implications. Science Education, v.83, n.5, 1999.

VIEIRA, K. R.C.F; BAZZO, W. A.; Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. Ciência e Ensino, v.1, número especial, 2007.

WALKER, J. O circo voador da Física. Editora LTC, 2ª edição, 2008

**Autor: Leandro Nascimento Rubino**

Este trabalho é parte do trabalho desenvolvido na dissertação de mestrado, intitulada: A Física envolvida no fenômeno do efeito estufa – uma abordagem CTS para o Ensino Médio, defendida em 15/12/2010, no programa de Ensino de Física, do instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A dissertação completa está disponível em: [http://omnis.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes.html](http://omnis.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes.html)

Atualmente o autor leciona nas seguintes instituições de ensino: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ / campus: Nilópolis); Colégio Estadual Professora Maria Nazareth Cavalcanti Silva; Colégio Qi.

## Capítulo 8

# PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM USINAS HIDRELÉTRICAS

*José Roberto da Rocha Bernardo*

## INTRODUÇÃO

O material apresentado traz uma proposta de sequência de ensino para conteúdos tradicionalmente abordados no contexto do ensino médio. O foco principal é a disciplina escolar Física, embora alguns assuntos possam ser discutidos também nas aulas de outras disciplinas, como Geografia. A sequência está estruturada a partir de um tema central de caráter sociocientífico – *Produção de Energia Elétrica em Usinas Hidrelétricas*. A proposta já foi implementada em, pelo menos, duas escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro (BERNARDO, VIANNA e SILVA, 2011) e tem servido de base para cursos de formação continuada em CTS para professores.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

O texto objetiva auxiliar o professor e os estudantes na condução da sequência de ensino dos conteúdos envolvidos com a *Produção de Energia Elétrica em Usinas Hidrelétricas*, de forma imbricada com discussões relevantes que envolvam os aspectos sociocientíficos relacionados ao tema. É importante ressaltar que a proposta não intenciona ser prescritiva em relação aos conteúdos a serem abordados, ficando a cargo do professor a tomada de decisão quanto ao que deve ser ensinado, em função da realidade da escola ou da sua vontade. Assim, a proposta não explicita a forma nem o momento de inserção dos conteúdos científicos propriamente ditos, mas deixa pistas sobre o possível envolvimento de conceitos e assuntos como: energia cinética, trabalho, teorema do trabalho-energia, energia potencial elástica, energia potencial gravitacional, princípio da conservação da energia, determinação de campos magnéticos em torno de condutores retilíneos, no interior de uma espira ou de um solenoide, princípio da indução eletromagnética, entre outros.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

Vamos iniciar essa unidade procurando refletir sobre o que sabemos sobre a energia elétrica que utilizamos em nossas casas.

Com a turma organizada em grupos de até cinco estudantes, sugere-se que cada grupo elabore respostas justificadas para as seguintes perguntas:

- I. De onde vem a energia elétrica que consumimos?
- II. Como essa energia é produzida? Explique o processo.

- III. Se você fosse o ministro das Minas e Energia de um determinado país, que aspectos levaria em consideração se tivesse de propor um programa para produção de energia elétrica para esse local?

### Atividade 1: Consumo de energia elétrica no mundo

O Atlas Geográfico Escolar (IBGE, 2007) traz, em sua 4ª edição, nas páginas 32 e 85, respectivamente, um planisfério político e um segundo planisfério chamado Terra à Noite (disponível também em [www.hardmob.com.br/boteco-hardmob/163736-terra-vista-do-espaco-a-noite-mapa-mundi-noturno.html](http://www.hardmob.com.br/boteco-hardmob/163736-terra-vista-do-espaco-a-noite-mapa-mundi-noturno.html)). O segundo mostra um mapa construído a partir de imagens noturnas obtidas por satélite, onde é possível visualizar a distribuição geográfica do consumo de energia elétrica no mundo.

Reúna-se com seus colegas de grupo, faça uma análise comparativa dos dois mapas e elabore respostas justificadas para as seguintes perguntas:

- I. Por que o hemisfério norte aparece mais iluminado que o hemisfério sul?
- II. Quais as regiões (ou países) que mais consomem energia elétrica? A que você atribui essa diferença em relação às regiões (ou países) que consomem menos?

### Atividade 2: Por que as usinas hidrelétricas no Brasil

Faça uma leitura do texto a seguir, discuta seu conteúdo com seus colegas de grupo e procure identificar as razões pelas quais o Brasil adota as usinas hidrelétricas.

### A opção pelas usinas hidrelétricas

A produção da energia elétrica pode ocorrer a partir de diversas tecnologias, sendo a mais simples a conversão da energia química contida nas pilhas e baterias. Ela pode se dar ainda, por exemplo, por conversão da energia solar em energia elétrica, utilizando conjuntos de células fotovoltaicas, uma tecnologia considerada bastante limpa do ponto de vista ambiental, mas pouco viável economicamente. Outra tecnologia é aquela que aproveita o fenômeno dos ventos para transformar essa energia (eólica) em energia elétrica por meio de mecanismos (conjuntos de pás) que giram de acordo com os ventos, acoplados ao gerador de energia elétrica. Embora haja críticas em relação ao ruído produzido por esses aparatos e à morte de aves marinhas provocada pelo movimento das pás, as usinas eólicas vêm sendo apontadas como uma boa alternativa para os problemas ambientais que inevitavelmente acompanham os processos de produção de energia. Nesse caso, o problema é que ainda não é possível se pensar em produzir energia em larga escala por meio de usinas eólicas, sendo essa opção encarada como uma alternativa.

Apesar de já se ter disponível um conjunto de tecnologias alternativas para a produção de energia elétrica, podemos afirmar que a maior parte da produção mundial está apoiada no uso de fontes fósseis como o petróleo, o gás e o carvão (usinas termelétricas), fontes nucleares (usinas termonucleares) e usinas hidrelétricas, as quais utilizam os recursos energéticos disponíveis em quedas de água.

No Brasil, a produção da energia elétrica está baseada, majoritariamente, nos empreendimentos hidrelétricos, considerados mais viáveis economicamente, em função da grande quantidade de quedas de água disponíveis no país. Do ponto de vista ambiental, as usinas hidrelétricas não podem ser acusadas de produtoras de lixo radioativo, como é o caso das termonucleares, tampouco podem ser acusadas de produtoras dos principais gases que pro-

vocam o aquecimento global como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), emitido em grande quantidade pelas termelétricas. Entretanto, outros problemas estão envolvidos com a produção de energia nas hidrelétricas e merecem nossa atenção, como veremos adiante.

### Atividade 3: As hidrelétricas e as questões socioambientais

Os textos a seguir podem nos ajudar a refletir sobre as questões socioambientais envolvidas com os empreendimentos hidrelétricos e as polêmicas que vêm ocorrendo no Brasil nas últimas décadas em torno dessas questões.

O primeiro texto traz a letra de uma canção chamada *Sobradinho*, de dois compositores brasileiros: Sá e Guarabira. Após a audição da música (áudio e vídeo disponíveis em <http://letras.mus.br/sa-guarabyra/356676>), faça uma breve discussão sobre o conteúdo da letra com seus colegas de grupo.

Em seguida, leia com atenção os textos informativos apresentados e discuta sobre eles com seus colegas de grupo, procurando refletir sobre os argumentos favoráveis e contrários às hidrelétricas.

Elabore um texto, com mais ou menos 15 linhas, que reflita a opinião do grupo acerca dessa controvérsia.

#### Letra da canção *Sobradinho* (Sá e Guarabira)

O homem chega já desfaz a Natureza

Tira gente põe represa diz que tudo vai mudar

O São Francisco lá pra cima da Bahia

Diz que dia menos dia vai subir bem devagar  
 E passo a passo vai cumprindo a profecia  
 Do beato que dizia que o Sertão ia alagar  
 O Sertão vai virar mar dá no coração  
 O medo que algum dia o mar também vire Sertão  
 Adeus Remanso, Casa Nova, Sento Sé  
 Adeus Pilão Arcado vem o rio te engolir  
 Debaixo d'água lá se vai a vida inteira  
 Por cima da cachoeira o gaiola vai subir  
 Vai ter barragem no Salto do Sobradinho  
 E o povo vai se embora com medo de se afogar

Deu no jornal 1: Adaptado do Jornal Diário do Verde, "Meio Ambiente em 1º Lugar!", de 6 de novembro de 2011 (Disponível em: [diariodoverde.com/belo-monte-de-que-tuira-facoes-e-bordunas/#ixzz258QRC35T](http://diariodoverde.com/belo-monte-de-que-tuira-facoes-e-bordunas/#ixzz258QRC35T)).

### *Belo Monte – de quê? Tuíra, Facões e Bordunas*

Por: Sandro Henrique Rodrigues Menezes

Desde a década de 1970, a região do Xingu vem sendo observada pelo seu potencial hidrelétrico. De lá pra cá saíram os militares, presidentes eleitos pelo voto direto e as intenções para com a região continuaram as mesmas. O desrespeito e a descon-

sideração da opinião e das necessidades dos povos indígenas vêm produzindo cenas dramáticas que sinalizam a indignação e a disposição desse povo para lutar por suas terras e por sua dignidade.

Foi em 1989, durante o I Encontro dos Povos Indígenas do Xingu, que o mundo viu surgir do meio daquele grupo pintado de jenipapo e urucum, a índia kayapó Tuíra empunhando seu facão de lâmina afiada, cortando o ar e firmando-o de lado no rosto do então diretor da Eletronorte, José Antonio Muniz Lopes, que discursava sobre a criação de hidrelétricas na região.



Figura 1: Índia Tuíra e o diretor da Eletronorte.

As discussões ganharam maior força a partir da criação do Movimento Xingu Vivo Para Sempre (MXVS), principal opositor à construção da usina de Belo Monte, durante o 11º Encontro dos Povos Indígenas do Xingu no ano de 2008.

Em 2010, tendo a participação do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB), as manifestações indígenas tornaram-se mais contundentes. Durante audiência pública na qual o engenheiro Paulo Rezende, da Eletrobrás, tentava convencer uma plateia que lotava um ginásio em Altamira-PA de que Belo Monte seria benéfica para todos, um novo incidente ocorreu. No fim de sua palestra, Roquivam Alves da Silva, do MAB, tomou a palavra: "Iremos à guerra para defender o Xingu, se isso for preciso".

Como um chamado, a frase levou o grupo kayapó, todos pintados e armados de facões e bordunas (arma típica dos kayapós), a entoar seus cantos e a dançar. Cercaram os membros que estavam na mesa impedindo que deixassem o local, inclusive o engenheiro, entre empurrões e safanões, em numa dança que perdurou por 10 minutos. Quando se desfez o cerco, o atordoadado engenheiro exibiu um corte no braço direito provocado pelo golpe de um facão. Nunca se soube ou identificou-se quem desferiu o golpe, mas a cena que descrevi pôde chocar a nós, não indígenas, quão violentados estão esses povos que ano a ano vêm sendo encurralados em redutos ínfimos de suas terras, lutando para preservá-las e garantir que seus descendentes tenham a chance de vivê-las.

**Deu no jornal 2:** Adaptado da coluna *Tendências e Debates*, caderno *Opinião*, p. A3, do *Jornal Folha de São Paulo* de 12 de fevereiro de 2011.

*Os esforços do governo para construir a usina de Belo Monte devem ser mantidos?*

*SIM: A razão das hidrelétricas*

Luiz Pinguelli Rosa

Físico, ex-diretor da Coordenação  
dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE-UFRJ)  
e ex-presidente da Eletrobras (2003-2004)

O setor elétrico brasileiro está sob duplo bombardeio na mídia. Têm ocorrido quedas de energia elétrica com frequência acima do normal. Não há falta de capacidade instalada, como no racio-

namento de energia em 2001. Na época, faltaram investimentos para expansão do sistema; hoje, o problema está na transmissão e na distribuição.

Por outro lado, os ambientalistas criticam a construção de Belo Monte. No fundo, a questão não é Belo Monte, mas fazer ou não hidrelétricas de potência significativa, em particular na região Norte, onde está a floresta amazônica, foco de justas preocupações ambientais.

Está na região Norte a maior parte do potencial hidrelétrico do Brasil, que possui os maiores recursos hídricos do planeta: 8,2 km<sup>3</sup>/ano, seguido da Rússia, com apenas 4,5, e do Canadá, com 2,9. Apesar disso, ficamos em quarto lugar em capacidade instalada de hidrelétricas, atrás de China, EUA e Canadá.

Usamos apenas cerca de 30% do potencial hidrelétrico nacional, percentual este que supera 70% na Noruega, seguida de perto por Japão, Canadá e EUA. Entretanto, a hidroeletricidade representa 85% da nossa geração elétrica, só superada pelo Paraguai e pela Noruega.

Deve o país abrir mão de utilizar essa energia? Creio que não. Mas não pode fazê-lo a qualquer preço. Devem ser cumpridas as restrições ambientais necessárias. O preço da energia de Belo Monte é de R\$ 68/MWh, enquanto nas termelétricas novas é de R\$ 140/MWh, e há antigas que chegam a R\$ 400/MWh quando operam em caso de escassez de água nas hidrelétricas.

O investimento previsto é de R\$ 20 bilhões, definidos no leilão, embora o documento do consórcio vencedor fale agora em 26 bilhões, pretendendo vender 20% da energia para consumidores livres a preço maior. Aí está um problema a ser resolvido pelo consórcio, pois deverá ser obrigado a manter o preço de R\$ 68/MWh para a rede pública.

A área inundada se restringe praticamente àquela que o rio já ocupa na sua variação sazonal. Ela tem 516 km<sup>2</sup>, bem menor que Itaipu, com 1.300 km<sup>2</sup>. Mas há um problema, que é a redução da água na Volta Grande do Xingu, o que preocupa moradores ri-

beirinhos. A solução é garantir uma vazão mínima. Não haverá reservatório para acumulação, como fazem as hidrelétricas antigas do sistema interligado. Para reduzir os impactos, perdeu-se a capacidade de regularizar a vazão, reduzindo a energia assegurada. A potência máxima de Belo Monte é de 11 GW e a média é de 4,6 GW. A relação desses dois valores dá o fator de capacidade de 42%, bem menor que os de Jirau e de Santo Antônio.

Entretanto, em geral, as hidrelétricas brasileiras têm fator de capacidade pouco acima de 50%. Esse fator é de, em média, 21% nas hidrelétricas na Espanha, de 32% na Suíça, de 35% na França e no Japão, de 36% na China e de 46% nos EUA.

A operação de Belo Monte não pode ser vista isoladamente, pois ela estará no sistema interligado, no qual há transmissão de energia de uma região às outras. Quando Belo Monte gerar 11 GW, ela vai economizar água em reservatórios de outras usinas, que reduzirão sua geração. E essa água guardada permitirá gerar energia adicional nessas usinas.

É natural que os ambientalistas pressionem o governo. Apoiei a então ministra do governo Lula, Marina Silva, quanto às exigências impostas para as usinas do rio Madeira. No final, chegou-se a uma solução para o licenciamento de Jirau e de Santo Antônio pelo Ibama.

Há anos, obras como a de Tucuruí produziram impactos muito grandes. O canteiro de obras causou uma concentração de pessoas abandonadas à própria sorte após a obra. Isso tem de ser evitado.

*NÃO: o futuro da energia no retrovisor*

Marcelo Furtado

Diretor executivo do Greenpeace no Brasil

O Brasil precisa de energia para seguir crescendo. Mas não precisa de Belo Monte. Um estudo do Greenpeace lançado em no-

vembro, o (R)evolução Energética, mostra que o país pode suprir suas necessidades energéticas investindo em fontes de geração renovável, como a eólica e a solar, e dispensando a construção de mega-hidrelétricas na região da Amazônia.

Em 2050, mostra o estudo, o Brasil pode ter uma matriz elétrica com 93% de participação de energias renováveis, eliminando completamente a geração à base de carvão, de diesel e a geração nuclear.

O cenário energético de nosso estudo custa – pasmem! – R\$ 88 bilhões a menos do que o proposto pelo governo para os próximos 40 anos.

Ele indica também que a aposta nas renováveis não é apenas mais barata. Ela geraria 1,2 milhão a mais de empregos e produziria seis vezes menos emissões de gases do efeito estufa em comparação aos planos da burocracia federal. Com tantas vantagens, por que ainda estamos investindo em grandes hidrelétricas na Amazônia?

A construção de Belo Monte provocará um desmatamento de 12 mil hectares, a movimentação de 230 milhões de metros cúbicos de terra – mais do que na obra do canal do Panamá – e a abertura de 260 quilômetros de estradas no canteiro de obras. Terminada a obra, a usina obrigará ainda a remoção forçada de 20 mil pessoas.

Os efeitos negativos sobre a biodiversidade e os indígenas que dependem do rio Xingu estão evidentes na relutância do IBAMA em licenciar a usina de Belo Monte.

Apesar de tantos questionamentos, Lula declarou que faria Belo Monte “na lei ou na marra”. A presidenta Dilma escolheu o segundo caminho, constringendo o IBAMA a conceder uma autorização para a instalação do canteiro de uma obra que ainda está para ser licenciada.

Se, do ponto de vista socioambiental, a construção de Belo Monte tem tudo para ser um desastre, do ponto de vista econômico, ela também não faz sentido. As obras civis vão custar R\$ 15,6 bilhões. Com esse número – oficial –, fica difícil acreditar que o valor final do projeto será de R\$ 25,8 bilhões, como recentemente anunciado. Há um ano, o valor da obra estava em R\$ 19 bilhões. Não houve, nos últimos 12 meses, uma inflação capaz de justificar tamanho salto de preço.

A discussão sobre Belo Monte não é sobre a tecnologia de geração hidrelétrica, mas sobre o tamanho da obra e sua localização. O modelo proposto pelo Greenpeace dialoga com o Brasil de hoje e do futuro, propondo uma expansão da geração energética a partir de fontes como a solar, a eólica, PCH (pequenas centrais hidrelétricas) e a biomassa.

Essas fontes, particularmente a biomassa e a eólica, são capazes de trazer a segurança energética que o país precisa ao longo do ano, uma vez que garantem o suprimento justamente nos meses de seca, em que a geração das hidrelétricas é muito mais baixa.

Belo Monte terá geração extremamente variável ao longo do ano e vai apenas repetir esse padrão, que contribui para o déficit de energia nos meses secos, remediado com o acionamento de termelétricas movidas a combustíveis fósseis.

O Brasil tem tudo para ser a nação com a matriz elétrica mais limpa do planeta. Belo Monte é sinal de que o governo não busca o futuro. Quer apenas perpetuar o passado, lavando as mãos em relação à nossa geração e às que estão por vir.

#### Atividade 4: Avaliando o impacto de usinas hidrelétricas

Uma forma de estimar o impacto causado por um empreendimento hidrelétrico é através de um indicador que meça a razão entre

a potência gerada e a área inundada. Quanto menor for o índice, maior será o impacto causado. O quadro a seguir mostra essas informações para uma série de hidrelétricas brasileiras, onde a usina de Balbina figura como um verdadeiro desastre ecológico.

Quadro 1: Potência elétrica produzida por hectare de área inundada

USINA	POTÊNCIA GERADA (MW)	KW/HECTARE
Xingó	5.000	588,2
Segredo	1.260	152,7
Ita	1.620	116,7
Itaipu	12.600	93,6
Tucuruí	3.900	13,9
Sobradinho	1.050	2,5
Balbina	250	1,1

Fonte: Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento  
(GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003. p. 106).

Reúna-se com seus colegas de grupo e, com base nos dados disponíveis nos textos anteriormente discutidos, faça uma estimativa do grau de impacto da usina de Belo Monte.

#### Atividade 5: Experimento fácil

As figuras a seguir mostram um experimento de fácil realização. Basta que você obtenha uma lata sem tampa revestida com papel na extremidade aberta e uma esfera de aço, dessas que se retira de rolamentos danificados.



Figura 2: Sequência de ações.

Reúna-se com seus colegas de grupo e procure posicionar a esfera sobre o papel, como está mostrado no segundo quadro da Figura acima. Eleve a esfera até uma altura de mais ou menos 30 cm e solte-a, a fim de que esta entre em colisão com a superfície do papel que reveste a abertura da lata.

### Atividade 6: Experimento fácil

A figura a seguir mostra uma ratoeira – armadilha utilizada para pegar ratos – e alguns estiletes de macarrão.



Figura 3: Sequência de ações.

**CUIDADO!!!** O manuseio desse aparato requer muita cautela e deve ser realizado por seu professor.

Observe que a sequência de ações do professor envolve, inicialmente, a ratoeira “desarmada” e o contato proposital dos estiletes com o mecanismo de disparo. Em seguida, o contato é provocado com a ratoeira “armada”.

Quando a noite chega, os ambientes tornam-se escuros e precisamos iluminá-los a fim de que possamos enxergar objetos e pessoas. A operação mais comum em nossas casas é pressionarmos o interruptor na parede para acender a lâmpada e iluminar o cômodo.

Considerando as observações realizadas nas Atividades 6 e 7, e o caso da lâmpada da nossa casa, reúna-se com seus colegas de grupo e responda as seguintes questões: o que aconteceu com a esfera, que depois de elevada provocou o rompimento do papel? O que aconteceu com a ratoeira, que depois de “armada” provocou a destruição dos estiletes? O que acontece com a lâmpada que acende e passa a iluminar o ambiente? O que passou a existir em cada um dos sistemas – e que não havia antes – para que esses efeitos fossem observados?

### Aprendendo sobre energia

As três situações anteriormente apresentadas podem ser compreendidas lançando-se mão do conceito de energia. A energia é um dos conceitos centrais, não só para a Física, como para outras ciências da Natureza. Entretanto, nem sempre o termo aparece aplicado somente ao contexto científico. É comum sua utilização em diferentes situações no dia a dia.

Quando identificamos que estamos acima do peso, ou abaixo, costumamos ir ao médico para que ele nos oriente em relação a nossa dieta. Em geral, essa dieta é definida em função da quantidade de energia (calorias) contida em tudo que ingerimos. A conta de luz que pagamos no final do mês também é definida em função da quantidade de energia elétrica que consumimos naquele período para iluminar nossas casas, conservar alimentos em geladeiras e *freezers*, preparar refeições em fornos elétricos ou de micro-ondas, para aquecer água, aclimatizar ambientes por meio de aparelhos de ar-condicionado etc.

Também no caso dos automóveis, a energia obtida a partir da queima do combustível é a responsável pela movimentação dessas máquinas, assim como a energia proveniente do processo de queima do gás de cozinha possibilita o cozimento dos alimentos.

Apesar de o homem e de a sociedade como um todo dependem tanto da energia, sobretudo daquela que chega até a Terra proveniente do Sol, não existe uma definição exata para esse conceito, de acordo com Feynman, Leighton e Sands (1977) no livro *The Feynman Lectures on Physics*. Assim, estamos lidando com uma entidade física que manipulamos, processamos, transformamos e até pagamos por ela, sem que seja possível atribuir-lhe uma definição muito exata. A forma mais utilizada para definir a energia de um sistema é associá-la à *propriedade que o sistema possui de realizar trabalho*.

Se fizermos uma reflexão sobre a presença da energia na sociedade contemporânea vamos verificar que, na maior parte dos casos, os processos que envolvem transformações de energia estão associados à melhoria da qualidade de vida e à promoção do bem-estar. Entretanto, não podemos dizer que essa afirmação seja sempre verdadeira, e isso pode ser verificado se levarmos em conta, por exemplo, os efeitos nefastos do uso da energia nuclear na indústria bélica e os inúmeros problemas socioambientais que os diferentes processos de transformação de energia podem causar.

Muitos processos naturais ou antropogênicos envolvem essas transformações de energia. Por isso, é comum a utilização de denominações específicas para o termo com o objetivo de identificar esses processos. Termos como energia elétrica, energia nuclear e energia solar exemplificam alguns desses casos, em que se especifica um contexto para um conceito que, na verdade, é universal.

Retornando-se aos casos apresentados anteriormente, no primeiro deles, ao elevarmos a esfera, a força aplicada pela mão realiza uma quantidade de trabalho que é acumulada pelo sistema físico (esfera) na forma de energia potencial gravitacional. Uma vez solta, essa energia será transformada em energia cinética, que

é também transformada em trabalho realizado pela força de contato que a esfera exerce sobre a folha de papel para perfurá-la.

No segundo caso, a força da mão do professor realiza trabalho sobre a mola da ratoeira (sistema físico), que é acumulado na forma de energia potencial elástica. Uma vez disparado o gatilho, a mola é liberada e essa energia é transformada em energia cinética. Quando o mecanismo da ratoeira em movimento entra em contato com os estiletes, essa energia cinética é convertida em trabalho realizado sobre os estiletes, provocando a destruição observada.

No caso da lâmpada, a corrente elétrica que passa a percorrer o filamento depois que o interruptor é ligado leva à energia elétrica que será transformada, no filamento, em calor e, em seguida, em energia luminosa.

Assim, o que observamos nos três casos são diferentes processos de transformação que demandam tratamentos específicos em função da natureza de cada um. Mas não devemos perder de vista o caráter universal do conceito de energia.

### Atividade 7: O princípio da conservação da energia

A figura a seguir mostra um conjunto que contém um *looping*, um cesto aparador e uma bolinha de gude.

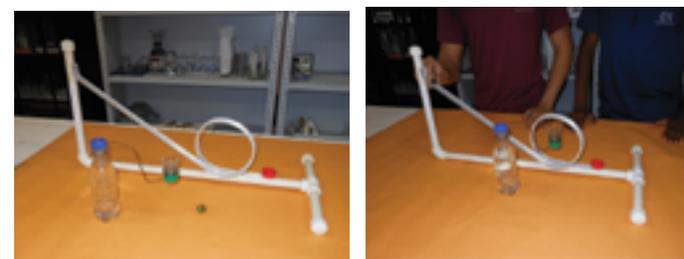


Figura 4: Looping.

O objetivo da atividade é soltar a bolinha em um ponto da calha de maneira que ela percorra a trajetória e caia exatamente no cesto que está localizado embaixo do ponto mais alto do *looping*.

Antes de realizar o experimento, reúna-se com seu grupo e responda: de que altura a bolinha deverá ser solta a fim de que caia exatamente no cesto? Faça uma estimativa e anote a altura estimada pelo grupo.

Em seguida, realize as tentativas que achar necessárias, tomando sempre nota da altura escolhida e do resultado obtido, mesmo que a tentativa seja frustrada.

Uma vez realizada a tarefa, responda: a altura ideal encontrada é maior, menor ou igual à altura máxima do *looping*? Como você justifica esse resultado?

O experimento exhibe um processo onde ocorre uma série de transformações de energia. Ao elevar a bolinha até a altura arbitrada, a pessoa realiza uma quantidade de trabalho sobre ela, a qual fica acumulada sob a forma de energia potencial gravitacional. Quando solta a bolinha, sua energia potencial vai se transformando em energia cinética gradativamente, até o ponto mais baixo da trajetória, onde toda a energia agora está presente na forma de energia de movimento (cinética). A partir daí, a energia cinética começa a ser novamente transformada em energia potencial enquanto a bolinha sobe o *looping*. Se a mão do operador tiver exagerado na altura inicial, a bolinha passará no alto da trajetória e não cairá no cesto, mas se a altura inicial for adequada, a energia da bolinha será exatamente aquela necessária para que ela suba o *looping* e caia no cesto sem ultrapassá-lo. Há, ainda, o caso de a altura inicial ser escolhida de tal maneira que a bolinha sequer consiga subir o *looping* até o ponto mais alto. Isso acontece quando a energia potencial inicial fornecida não foi suficiente para que o ciclo fosse concluído.

Depois de realizado o experimento com cuidado, você deve estar se perguntando: se é necessário um valor exato de energia

para a bolinha cair no cesto, por que foi necessário soltar a bolinha de uma altura acima do ponto máximo do *looping*?

Quando estamos diante de situações reais, a força de atrito do ar sobre a bolinha pode provocar perdas na energia inicial. Além disso, como a bolinha está longe de poder ser considerada um "ponto material", uma parte da energia potencial inicial é transformada em energia cinética de rotação, além da energia de translação. Esses dois fatores fazem com que a altura ideal inicial seja ligeiramente superior à altura máxima do *looping*. É uma questão de compensação.

Por outro lado, em situações ideais em que as perdas provocadas por forças dissipativas (atrito) podem ser desprezadas, a energia total do sistema se conserva. Nesse caso, dizemos que o sistema físico é conservativo, pois ele admite transformações, mas seus processos conservam a energia total. Esse é um dos princípios fundamentais da Física e recebe o nome de *Princípio da Conservação da Energia*.

No problema do *looping*, se fosse possível desconsiderar a parcela referente à energia cinética de rotação em qualquer ponto da trajetória, a energia total ( $E$ ) da bolinha seria conservada no caso de não haver dissipações, e seu valor poderia ser obtido por meio de uma expressão matemática que envolve uma parcela representativa da energia potencial gravitacional ( $mgh$ ) e outra representativa da energia cinética  $\frac{1}{2}mv^2$ . Assim,

$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

é a expressão matemática que traduz o *Princípio da Conservação da Energia*, a qual permite calcular o valor da energia total e das parcelas que contribuem para esse valor, onde  $m$  é a massa da bolinha,  $v$  sua velocidade,  $h$  a altura da bolinha e  $g$  a aceleração da gravidade.

## Atividade 8: Os processos de transformação nas usinas hidrelétricas

Leia com atenção o texto a seguir e discuta-o com seus colegas de grupo, procurando identificar e descrever os diversos processos de transformação de energia que ocorrem nas usinas hidrelétricas.

### Os processos de transformação

A produção de energia elétrica em larga escala tornou-se possível graças ao desenvolvimento das usinas geradoras de energia elétrica. De maneira geral, essas usinas funcionam baseadas em sucessivos processos de transformação da energia, que é obtida de uma fonte natural, em energia elétrica, e esses processos podem ser mais facilmente compreendidos considerando o *looping* anteriormente estudado como um análogo de uma usina.

Para que o gerador elétrico funcione (gere energia elétrica), é necessário que seu eixo seja submetido a um movimento de rotação e a quantidade de energia gerada dependerá, dentre outros fatores, da velocidade dessa rotação. Nas usinas hidrelétricas, esse movimento de rotação é transmitido ao eixo da unidade geradora por meio da turbina que pode se movimentar, acoplada mecanicamente ao eixo, a partir da queda da água que está represada na barragem.

É na enorme massa de água represada que está acumulada a energia em seu estado natural, na forma de energia potencial gravitacional. Com a queda, a água percorre dutos muito longos (altos). Quanto maior a altura de onde a massa de água despenca, maior será a velocidade final na parte inferior do duto e, conseqüentemente, a energia cinética. O duto está diretamente acoplado à turbina, onde há um conjunto de pás que entra em rotação ao ser atingido pelo fluxo de água. Mais especificamente, a função da turbina é utilizar o fluxo de água que chega para produzir movimento de rotação. Ou seja, ela é um aparato tecnológico onde

ocorre a transformação da energia cinética trazida pela massa de água em energia cinética de rotação das pás (animação desses processos disponível em [www.geocities.ws/saladefisica5/leituras/hidreletrica.html](http://www.geocities.ws/saladefisica5/leituras/hidreletrica.html)).

Assim, o movimento de rotação é transmitido diretamente aos mecanismos e circuitos que compõem o gerador, elemento fundamental que está na ponta do processo de produção e onde ocorre, finalmente, a transformação da energia cinética de rotação em energia elétrica, que pode ser utilizada conectando-se os terminais elétricos do gerador a toda a rede de consumidores por meio das linhas de transmissão que levam a energia gerada até fazendas, indústrias, pequenas propriedades e grandes centros urbanos.

Muitos consideram a usina de Três Gargantas, localizada no rio Yang-Tsé (rio Azul) na China, como a maior hidrelétrica do mundo, enquanto alguns nacionalistas apostam ainda em Itaipu.

Reúna-se com seus colegas de grupo e realize uma pesquisa para saber um pouco mais sobre essa polêmica e sobre as principais características dessas duas usinas, como: potência gerada, área alagada, volume de água represado, altura da barragem e fator de impacto.

Depois de saber um pouco mais sobre os diversos processos de transformação que ocorrem nas hidrelétricas, você deve estar se perguntando: como se dá a transformação no interior do gerador? Essa resposta pode ser encontrada, desde que você conheça alguns conceitos e princípios básicos do eletromagnetismo clássico.

## Atividade 9: O caminho histórico de Faraday

A história da construção do princípio da indução eletromagnética tem como origem a percepção da relação entre corrente elétrica e campo magnético – a inauguração do eletromagnetismo. Em 1820, um cientista dinamarquês chamado Hans Christian Ørsted

(1777-1851) – que já tinha informações sobre o envolvimento entre faíscas elétricas e deflexões de agulhas de bússolas – realizou uma experiência que forneceu a primeira prova concreta dessa relação.

Örsted posicionou a agulha de uma bússola debaixo de um fio condutor retilíneo e horizontal, de maneira que ambos ficassem paralelos e alinhados com o campo magnético da Terra (ver Figura 5 a seguir). Ao provocar a passagem da corrente elétrica pelo condutor, ele verificou uma deflexão na agulha da bússola. Com isso, constatou a existência de um campo magnético próximo ao condutor.

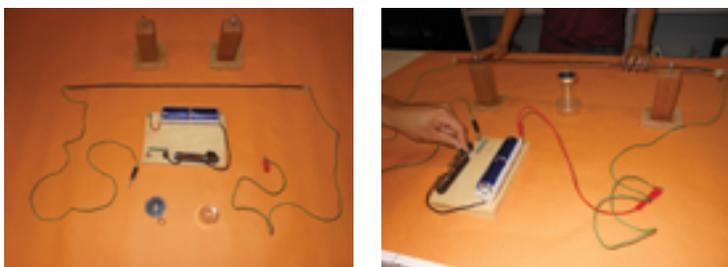


Figura 5: Reprodução do experimento de Örsted.

Reúna-se com seus colegas de grupo e procure reproduzir o experimento de Örsted com a ajuda de seu professor, a partir do material disponível mostrado na Figura anterior.

A experiência de Örsted provocou uma série de especulações por parte dos filósofos naturalistas europeus do século XIX e de outros cientistas, dentre eles Michael Faraday (1791-1867). Segundo Williams (1981), o experimento de Örsted teria sido reproduzido por Faraday em 1821, a pedido de um amigo, Richard Phillips, editor do periódico *Philosophical Magazine* e, de acordo com o próprio Faraday, em seu *Experimental Researches in Electricity* editado entre os anos de 1839 e 1855, algumas inovações foram introduzidas no experimento com o propósito de buscar argumentos que justificassem a existência das chamadas “linhas de força”, denominação atribuída por Faraday ao que hoje denominamos “linhas de campo”.

De 1824 em diante, Faraday passou a se dedicar a pesquisas sobre como produzir corrente elétrica a partir de campos magnéticos. Naquele contexto, ele buscava resposta para a seguinte questão: se é possível produzir campo magnético a partir de uma corrente elétrica, seria possível produzir corrente elétrica a partir de um campo magnético?

E você, o que acha da dúvida de Faraday? Discuta sobre isso com seus colegas de grupo e apresente suas ideias a respeito.

Somente em 29 de agosto de 1831 (WILLIAMS, 1981) o próprio Faraday propôs um experimento cujo resultado abriu as portas para o entendimento sobre o fenômeno da indução eletromagnética. O experimento proposto (ver Figura 6 a seguir) utilizava um anel de ferro sobre o qual estavam acomodados dois enrolamentos de fios condutores. Um deles foi ligado a um galvanômetro – instrumento de alta sensibilidade capaz de medir correntes elétricas muito baixas – e o outro ligado aos terminais de uma bateria.



Figura 6: Reprodução do experimento de Faraday. Indução eletromagnética.

Após uma sucessão de operações de liga e desliga dos fios do primeiro enrolamento aos terminais da bateria, foi observada a indução de uma corrente elétrica no enrolamento ligado ao galvanômetro. Entretanto, o aparecimento da corrente ocorria apenas nos instantes que os fios eram ligados e desligados aos terminais da bateria, não sendo observada corrente induzida enquanto os fios permaneciam ligados em regime estacionário.

Servindo-se do seu conceito de linhas de força (linhas de campo), Faraday iniciou uma busca no sentido de esclarecer os princípios básicos envolvidos na indução eletromagnética. De acordo com ele, a corrente variável que se estabelecia no enrolamento ligado à bateria nos instantes que este era ligado ou desligado – regime transitório – modificava as linhas de força ao longo do anel de ferro, e as variações nas linhas de força induziram a corrente no outro enrolamento, já que este compartilhava essas linhas com o enrolamento indutor. Mais tarde, Faraday realizou outros experimentos para mostrar que o anel de ferro era desnecessário no processo, e que o ferro apenas intensificava o efeito.

Algumas questões ainda inquietavam Faraday em 1831: seria possível induzir uma corrente, fazendo variar apenas as linhas de força através de um único enrolamento, de outra maneira? O enrolamento indutor seria necessário?

E você, o que acha da dúvida de Faraday? Discuta sobre isso com seus colegas de grupo e apresente suas ideias a respeito.

Em 17 de outubro de 1831 (WILLIAMS, 1981), Faraday propôs um experimento utilizando um enrolamento ligado aos terminais de um galvanômetro e um ímã em forma de barra (ver Figura 7 a seguir). Faraday realizou movimentos inserindo e retirando o ímã no (do) interior do enrolamento. Segundo ele, o movimento provocava uma variação nas linhas de força que atravessam os fios do enrolamento, ocasionando a indução de uma corrente elétrica nele, a qual era registrada pelo galvanômetro.

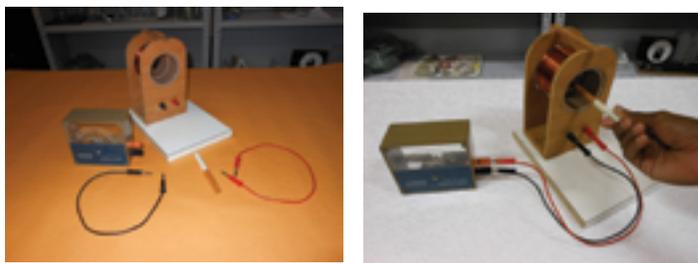


Figura 7: Reprodução do experimento de Faraday. Indução sem enrolamento indutor.

Outra observação importante realizada por Faraday foi o fato de a corrente induzida ocorrer em sentidos opostos quando o circuito era ligado e quando era desligado no experimento do anel. O mesmo fenômeno foi observado quando o ímã era inserido e retirado no (do) enrolamento. As correntes registradas, no primeiro e no segundo casos, se estabeleciam apenas enquanto havia movimento do ímã, e sempre em sentidos contrários, considerados os movimentos de inserção e retirada. Mais tarde, Faraday demonstrou experimentalmente que o importante no processo era a variação relativa das linhas de força, fosse esta obtida movimentando-se o ímã, o enrolamento, ou os dois.

A partir de todas essas observações, Faraday pôde, então, enunciar o princípio da indução eletromagnética: *“a variação das linhas de força magnética pode induzir uma corrente elétrica em um fio”*.

Depois, com as contribuições de Heinrich Lenz (1804-1865), foi possível a elaboração da chamada Lei de Faraday-Lenz da Indução Eletromagnética, como hoje ela é conhecida: a força eletromotriz induzida ( $\epsilon$ ) em uma espira construída com um condutor elétrico é diretamente proporcional à variação temporal do fluxo das linhas de campo  $\Phi$  que atravessam essa espira, e a expressão matemática que traduz a lei se escreve:

$$\epsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

onde o fluxo  $\Phi$  é definido como o número de linhas de campo que atravessam a área definida pela espira condutora (ver Figura 8 a seguir).



Figura 8: Representação das linhas de campo que saem do ímã e atravessam a área da espira.

Faraday só havia produzido aparições momentâneas de correntes induzidas – apenas em momentos de variação das linhas de campo a partir da variação da corrente no enrolamento indutor ou a partir da movimentação do ímã. Entretanto, inquietava-o a vontade de produzir corrente de forma ininterrupta. Seria possível produzir uma corrente durável a partir da indução eletromagnética?

A busca pela resposta foi a base para o desenvolvimento da tecnologia que envolveu o primeiro gerador elétrico de energia cujo funcionamento não se apoia em processos eletroquímicos como pilhas e baterias. Fazendo girar continuamente, por meio de uma manivela, um disco de cobre entre os polos de um ímã, uma corrente induzida estacionária foi coletada em um par de escovas de material condutor (grafite macio) que estavam ligadas a um circuito externo. Esse aparelho, denominado “*dinamo de disco de Faraday*”, não se revelou muito prático, mas mostrou que era possível a geração ininterrupta de eletricidade.

Apesar de todas as inovações tecnológicas e modificações, sobretudo aquelas introduzidas por Nikola Tesla (1856-1943), esse ainda é o princípio de funcionamento dos geradores elétricos das grandes usinas que transformam energia de movimento em energia elétrica (ver Figura 9 a seguir).



Figura 9: Protótipo de um gerador que transforma energia cinética de rotação (mecânica) em elétrica.

### Atividade 10: Construção do protótipo

O protótipo mostrado na Figura anterior pode ser reproduzido com material de sucata. Reúna seu grupo e tente você mesmo realizar a reprodução desse aparato tecnológico, ou proponha outro modelo. Peça ajuda ao seu professor.

### Atividade 11: Debate simulado

Nessa atividade, a turma toda poderá ser dividida em três grupos: o primeiro grupo ficará responsável por defender a produção de energia elétrica a partir das usinas hidrelétricas. O segundo grupo fará o papel oposto – contrário a esses empreendimentos. O terceiro grupo será responsável por julgar e definir o grupo que foi mais convincente. Para isso, o terceiro grupo procurará agir de forma neutra, focalizando apenas os argumentos apresentados, ainda que pessoalmente não concorde. O trabalho do terceiro grupo tem um perfil técnico e, por isso, precisa estar apoiado em ações objetivas, tais como observar:

- ▶ Se há coerência nos argumentos para promover o convencimento dos outros;
- ▶ Se os argumentos foram construídos sobre bases científico-tecnológicas ou se ficam restritos à repetição do que os estudantes trazem do cotidiano e dos textos disponibilizados;
- ▶ Se os argumentos abordam com clareza as relações entre a ciência e a tecnologia e os aspectos políticos, econômicos, socioambientais, éticos e morais.

O terceiro grupo poderá formular perguntas aos dois grupos no sentido de refinar sua avaliação, se julgar necessário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FARADAY, M. *Experimental Researches in Electricity*. v. 3. New York: Dover, 1855.

FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. *The Feynman Lectures on Physics*. v. 1. London: Addison Wesley, 1977.

GOLDEMBERG, J e VILLANUEVA, L.D. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo:EDUSP, 2003

WILLIAMS, L. P. Michael Faraday. In: Gillispie, C. C. (Org.). *Dictionary of Scientific Biography*. v. 3. New York: Charles Scribner's Sons, 1981. p. 527-540.

**Autor: José Roberto da Rocha Bernardo**

Doutor em Ensino em Biociências e Saúde pelo Instituto Oswaldo Cruz – FIOCRUZ e professor da Faculdade de Educação e do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal Fluminense – UFF.

O trabalho aqui apresentado representa uma ampliação de um material desenvolvido para cursos de formação inicial e continuada de professores, que foi utilizado nos cursos e oficinas estudados durante o curso de doutorado e que vem sendo implementado em escolas públicas do Rio de Janeiro.

## Capítulo 9

## ESPELHOS PLANOS

*Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza*

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

O fenômeno da reflexão e a presença dos espelhos planos são observados em várias situações do nosso dia a dia e, muitas vezes, não os percebemos nos usos mais comuns, como quando nos maquiemos, penteamos ou nos barbeamos. Espelhos são superfícies lisas e polidas que permitem a reflexão de grande parte da luz que incide sobre elas. Materiais de aço inox, uma pintura bem polida de um automóvel e até um lago são exemplos dessas superfícies nas quais é possível vermos nossa imagem.

Os espelhos estão presentes em situações muito mais constantes de nossa vida, além de seu uso pessoal. Ao pegar um elevador, notamos a existência de espelhos planos na lateral ou no fundo do elevador. Nesse caso, eles são usados para que o ascensorista

possa enxergar possíveis usuários presentes no local. Ou, então, em retrovisores de automóveis para que seja possível ver outros veículos que estão atrás.

Além disso, muitos instrumentos ópticos se utilizam de espelhos planos. Os telescópios, por exemplo, têm espelhos na sua composição. O chamado telescópio refletor funciona com a combinação de espelhos esféricos e espelhos planos. Outro instrumento, de grande importância, é o periscópio, usado na guerra para observar os inimigos de dentro de uma trincheira ou em um submarino.

Podemos ainda observar bolas formadas por espelhos, como aquelas utilizadas em ambientes de entretenimento, e os caleidoscópios, que refletem luzes e brilhos fascinantes.

A ocorrência mais comum do fenômeno da reflexão é quando nos olhamos no espelho. E a mais antiga registrada é a lenda de Narciso, que olhava seu reflexo no lago e admirava sua beleza. Muitos truques que observamos nos circos, teatros e em espetáculos de magia utilizam espelhos.

Mas como podemos desenvolver e discutir esses assuntos na sala de aula? Neste trabalho, apresentamos diferentes quadrinhos que podem facilitar a percepção e a compreensão de diferentes situações de nosso dia a dia.

## UNIDADE I

O objetivo dessa atividade é iniciar uma discussão sobre a reversão da imagem nos espelhos e suas possíveis aplicações tecnológicas. Por meio de atividades observacionais e experimentais propostas pelas tirinhas, os alunos podem discutir o termo “inversão” e sua diferença em relação ao termo reversão. O professor pode levar um espelho grande para os grupos observarem-no durante a discussão do assunto e para os estudantes instigados a propor aplicações para a reversão da imagem.

As atividades podem propiciar interessantes discussões sobre a utilização da escrita reversiva em carros de emergência, para que os alunos compreendam a diferença entre os dois termos. É importante levar em conta a possibilidade de utilização de livros didáticos como material de apoio, sobretudo os exercícios propostos neles. O professor pode discutir com os estudantes a respeito do uso da escrita revertida, utilizada para esconder informações na época da Inquisição e das perseguições da Igreja, problematizando essa forma de a Igreja registrar seus dados e descobertas.

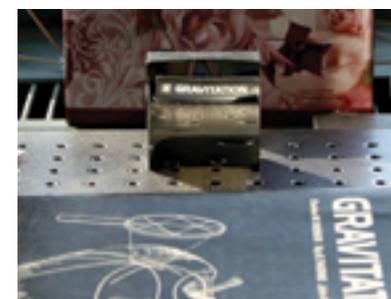


Figura 1: Um espelho não reversivo.

(Foto: NEW SCIENTIST/Andrew Hicks)

Outra sugestão é a provocação de discussões sobre o uso da reversibilidade da imagem em aparatos tecnológicos, apresentando exemplos de espelhos não reversíveis. Esse tema pode ser introduzido indagando-se se o estudante consegue imaginar em que um espelho não reversivo pode melhorar uma tecnologia. Pode ser apresentada a Figura 1 e também proposta aos alunos uma atividade para eles desenvolverem ou pensarem em como fabricar um espelho não reverso. Para tal, o professor pode explorar a patente de Hooker (1887).

## UNIDADES II E III

Essas seções podem ser iniciadas por meio de uma discussão sobre as diversas aplicações tecnológicas dos espelhos. Algumas delas são apresentadas a partir de matérias de jornal ou retiradas de sites, e podem ser utilizadas para iniciar as discussões e para que os alunos possam compreender o assunto proposto. O professor pode usar um mesmo tema publicado em diferentes jornais ou sites para que os alunos tenham acesso a diferentes pontos de vista, discutindo a viabilidade dessas aplicações.

As tirinhas da Unidade II abordam o subtema “Campo Visual” e são acompanhadas por questões que envolvem argumentos baseados em aspectos da Geometria sobre a construção da imagem e do campo visual. Aumentar a captação de luz é o fator mais importante para justificar a utilização de espelhos maiores; entretanto, muitas vezes o aluno não percebe isso com facilidade.

A Unidade II apresenta, ainda, uma discussão sobre as propriedades reflexivas dos materiais. Muitos alunos esquecem que outros materiais também refletem e não compreendem o que leva uma superfície a se comportar como boa refletora, já que uma parede opaca também reflete luz. Logo, espelhos são superfícies lisas e polidas que permitem a reflexão de grande parte da luz que incide sobre elas. Materiais de aço inox, uma pintura bem polida de um automóvel e até um lago são exemplos de tipos de superfícies nas quais é possível ver nossa imagem. Com as Figuras 11 e 12, os discentes também podem discutir como enxergamos os objetos e o que é necessário para que isso aconteça dessa maneira.

Existe, além disso, uma questão encontrada em Hewitt (2006) sobre as placas de alguns caminhões que dizem: “Se você não pode ver meu espelho, eu não posso te ver”.

Na Unidade III é apresentada uma proposta para se resolver o problema do aquecimento global. A matéria jornalística (FSP, 2011) pode ser apresentada para os alunos a fim de que possam discutir sobre a viabilidade do método apresentado. A tirinha re-

força a discussão sobre a reflexão em outras superfícies diferentes dos espelhos do banheiro.

## UNIDADE IV

Um truque muito comum é apresentado nessa Unidade. Os alunos podem investigar como a mágica é executada, enquanto outros truques podem ser apresentados. Sugere-se que o professor apresente vídeos com esses truques. As soluções desses truques podem ser encontradas em Walker (2008).

## UNIDADE V

Essa Unidade explora o assunto de composição (ou associação) de espelhos, apresentando primeiramente duas tirinhas (Figuras 15 e 16) sobre duas situações: espelhos em ângulo e espelhos em paralelo.

Aqui pode ser interessante a utilização da associação de espelhos, como no caleidoscópio e no periscópio. Esses dois instrumentos são caixas-pretas muito interessantes e podem inspirar muitas discussões sobre seu funcionamento. Assim, o professor pode propor que os alunos construam esses aparelhos para observar os fenômenos através deles.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAROLL, L. *As aventuras de Alice no País das Maravilhas*. Através do Espelho e o que Alice encontrou lá. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 2009. ISBN 978-85-378-0172-7.

FOLHA ONLINE. *Sucessor do Hubble, telescópio James Webb já tem espelhos prontos*. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com>>.

br/ciencia/937494-sucessor-do-hubble-telescopio-james-webb-ja-tem-espelhos-prontos.shtml>. Acesso em: 8 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. *Os homens do tempo: haverá solução tecnológica para o aquecimento global?* Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ilustrissima/55778-os-homens-do-tempo.shtml>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

G1. *Cientistas estudam “soluções” inusitadas para aquecimento global: uma das propostas é colocar espelhos no espaço para desviar raios solares.* Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL843017-5603,00-CIENTISTAS+ESTUDAM+SOLUCOES+INUSITADAS+PARA+AQUECIMENTO+GLOBAL.html>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2000.

HOOVER, J. J. *Mirror for obtaining true or positive reflections*. United States patent US 370.623 1887 Set 27.

MOURA, R.; CANALLE, J. B. G. Os mitos dos cientistas e suas controvérsias. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [on-line], v. 23, n. 2, p. 238-251, 2001. ISSN 1806-1117. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172001000200016>>.

NEW SCIENTIST. *Reflecting on a new generation of mirrors: Non-reversing mirror*. Disponível em: <<http://www.newscientist.com/gallery/dn16585-amazing-mirrors>>. Acesso em: 28 jul. 2012.

WALKER, J. *O circo voador da Física*. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### UNIDADE I

Leia a tirinha (Figura 2), responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:



Figura 2: “Inversão” da Imagem I.

- ▶ No primeiro quadrinho, qual braço da menina está levantado? E na sua imagem?
- ▶ Por que a palavra aparece “errada”? Escreva como ela deveria ser grafada para aparecer no “espelho” a palavra Casa?
- ▶ Posicione-se de frente a um espelho e mexa seu corpo. Observe e anote o que está acontecendo com sua imagem.

Os espelhos são objetos fascinantes, mas eles já são tão habituais nas nossas vidas que nem nos damos conta disso. Quando escovamos os dentes ou penteamos os cabelos, percebemos que

existe uma “inversão” na imagem em relação a nós (objeto). Você já se perguntou por que os espelhos invertem a esquerda e a direita, mas não invertem acima e abaixo? Na tirinha acima (Figura 2), a menina faz uma experiência usando um espelho. Você já observou esse fenômeno apresentado no último quadrinho? Onde?

Leia a tirinha (Figura 3), responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:



Figura 3: "Inversão" da Imagem II.

- ▶ Por que a palavra impressa na frente de alguns veículos, como, por exemplo, a ambulância, é escrita ao contrário? Reproduza.
- ▶ No 3º quadrinho, o garoto teve uma interpretação de “inversão” da imagem. É possível reproduzir uma imagem assim com um espelho plano? Como?

No livro *As aventuras de Alice no País das Maravilhas* (CAROLL, 2009), Alice encontrou um livro na Casa dos Espelhos com um tre-

cho que não conseguia ler e julgou ser de alguma língua que não conhecia.

O trecho era apresentado da seguinte maneira:

PARAVÁRIO  
SolmpraV e os luhcizos touros  
Em vertigros personavam as verdes;  
Tiscituros calavam-se os gajonvos  
E os porveridos estiguiavam fientes.

Você consegue ler esse trecho do livro? Como?

A Figura 4 apresenta uma situação muito comum. Provavelmente você já precisou pedir um aumento de mesada para seus pais.

Leia a tirinha abaixo (Figura 4), responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:



Figura 4: "Inversão" da Imagem III.

- ▶ Imagine que você seja o pai do garoto. O que você faria para entender o que o garoto está dizendo?

- ▶ Desenhe uma seta apontando para cima e observe sua imagem no espelho. Desenhe também uma seta apontando para a direita e observe sua imagem no espelho. Por que o espelho plano inverte a parte direita para a parte esquerda, mas não inverte a parte de cima para a parte de baixo?
- ▶ Na parede da sala há um relógio de ponteiros no qual, em vez dos números, há pequenos traços. Na parede oposta àquela onde está o relógio existe um espelho plano. A Figura 5 mostra a imagem do relógio no espelho. Observando a imagem do espelho, responda: que horas são no relógio?



Figura 5: Relógio da “Inversão” da Imagem III.

Um matemático desenvolveu um espelho não reversivo. Ele utilizou programações de computador para criar uma superfície de espelho anormal. A partir dos modelos desse matemático é possível projetar espelhos que contemplem grandes visões angulares e eliminem distorções (Fonte: New Scientist, 12 fev. 2009).

O que significa um espelho não reversivo? Esses espelhos foram patenteados em 1887 por John Joseph Hooker e nessa época não existia computador. Então, como poderíamos fazer um espelho “maluco” desses?

Leia a tirinha abaixo (Figura 6), responda as perguntas e discuta sobre o assunto e a forma de produzir um espelho semelhante ao de John Hooker com seus colegas:



Figura 6: “Inversão” da Imagem V.

- ▶ O que a menina quis dizer com “fazer o espelho direito” e “meu melhor lado”?
- ▶ Vamos investigar imagens formadas em espelhos planos. Precisamos de um dado e dois espelhos planos de bolso. Coloque os espelhos um de frente para o outro, e o dado no meio. Observe as imagens produzidas em ambos os espelhos. Faça um esquema mostrando como cada face se comporta diante do espelho. Que conclusões você pode tirar disso?

## UNIDADE II

Segundo notícia publicada na *Folha Online* em 01/07/2011, os espelhos do novo telescópio estão prontos. Desde 2002, cientistas norte-americanos estão desenvolvendo o telescópio James Webb, que terá um conjunto de 18 espelhos individuais e substituirá o telescópio Hubble. Esse telescópio utiliza a tecnologia chamada ótica ativa e adaptativa, a qual é usada para controlar os espelhos (Figura 7) eletronicamente, a fim de melhorar a imagem refletida.

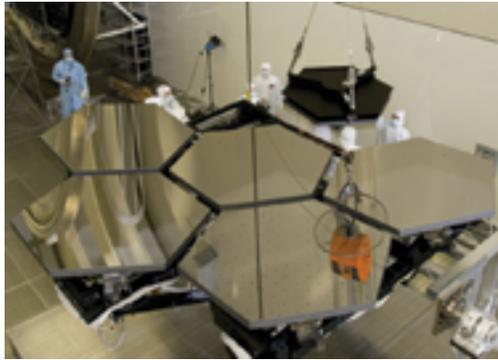


Figura 7: Espelhos do telescópio espacial James Webb.

(Foto: NASA/MSFC/Emmett Givens)

Os espelhos são essenciais na composição dos telescópios e sua qualidade depende deles. O conjunto de espelhos de James Webb é quase sete vezes maior que o espelho do telescópio Hubble (Figura 8). Como os espelhos podem ser essenciais na configuração dos telescópios? E por que não fazer um espelho inteiro ao invés de fazer um conjunto de 18 espelhos?

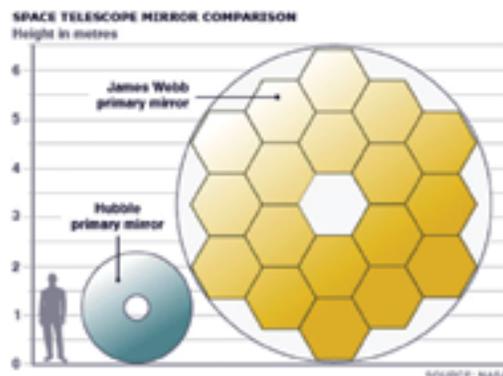


Figura 8: Comparação em metros entre os espelhos de Hubble e de James Webb.

(Ilustração: NASA)

Qual o objetivo de se aumentar a área do espelho em um telescópio? Leia as tirinhas (Figuras 9 e 10), responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:



Figura 9: Campo Visual I.

- ▶ Por que as meninas riem da afirmação da outra menina?
- ▶ O que seria possível fazer para que ela conseguisse ver seus tênis?
- ▶ É possível formar uma imagem ampliada ou reduzida utilizando o mesmo espelho? Justifique.

Física<sup>EM</sup>  
QUADRINHOS

## CAMPO VISUAL II



Figura 10: Campo Visual II.

- ▶ A menina conseguiu ver o garoto com o auxílio de um espelho. Mostre em que região o vampiro e a janela devem estar para que a menina o veja pelo espelho. (Utilize a Figura 11 (a).)
- ▶ O esquema abaixo representa a planta de uma sala. Um ladrão está na posição indicada. O espelho representado tem a altura da parede. O dono da casa vê o ladrão? E o ladrão vê o proprietário da casa? (Utilize a Figura 11 (b).)

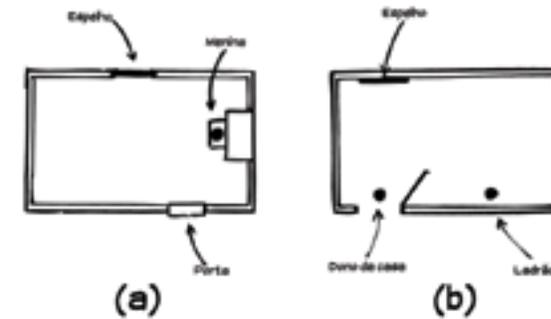


Figura 11: Diagramas das perguntas sobre a tirinha Campo Visual II – Figura 10.

Segundo contam as lendas, em 212 a. C., Arquimedes utilizou espelhos para incendiar as velas das naus romanas que tentavam invadir sua terra natal. Você acha que ele usou um espelho ou uma composição de espelhos para isso? É possível incendiar esses navios utilizando espelhos planos? Como? Além disso, os espelhos utilizando vidros só foram inventados em 1291 (MOURA e CANALLE, 2001). Você saberia explicar como eram feitos os espelhos antes disso?

Leia as tirinhas abaixo, responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:

Física<sup>EM</sup>  
QUADRINHOS

## CAMPO VISUAL III

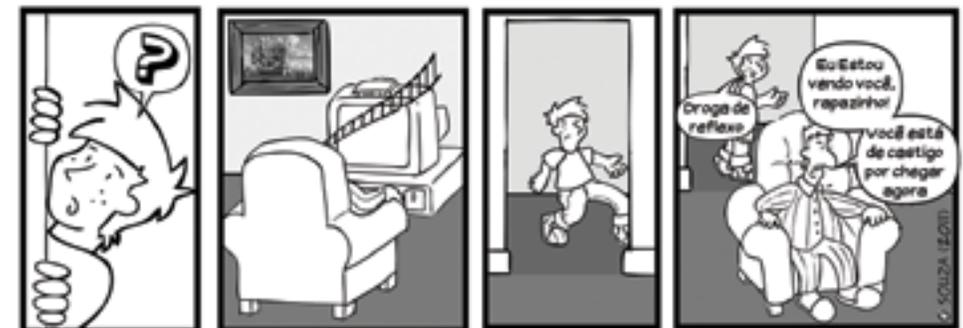


Figura 12: Campo Visual III.

- ▶ Observando a tirinha, como você acha que o pai viu o garoto?
- ▶ O esquema representa um espelho, diante do qual se encontram cinco objetos luminosos: A, B, C, D e E. O ponto O corresponde à posição do globo ocular de um observador.

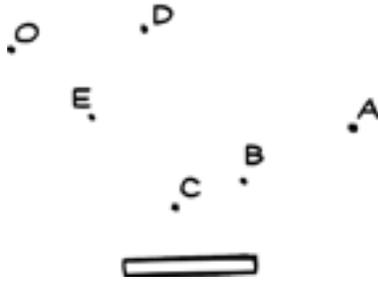


Figura 13: Diagrama das perguntas sobre a tirinha Campo Visual III – Figura 12.

Observando a Figura 13 acima, que ponto (ou pontos) o observador não poderá ver pela reflexão da luz no espelho?

## Física <sup>em</sup> QUADRINHOS



Figura 14: Campo Visual IV.

- ▶ O que o narrador do jogo quis dizer com: “o espelho reflete os raios ópticos dela”? Faça um esquema, se preciso.

- ▶ Alguns caminhões possuem uma placa na traseira dizendo: “Se você não pode ver meu espelho, eu não posso te ver”. O que isso quer dizer? Como podemos relacionar isso com essa tirinha? Faça um desenho para esquematizar o que ocorre com o fenômeno físico envolvido.
- ▶ Qual das imagens dos objetos o olho, localizado no ponto P, pode ver refletida no espelho?



Figura 15: Diagrama das perguntas sobre a tirinha Campo Visual IV – Figura 14.

## UNIDADE III

Muitos cientistas estudam formas inusitadas de diminuir o aquecimento global. Alguns estudos sugeriram o uso de espelhos no espaço, no deserto ou até no Polo Sul. Em notícia publicada na *Folha Online* em 22/07/2012 foi revelado que essas ideias são frutos da observação dos resultados de um fenômeno vulcânico que aconteceu no dia 15 de junho de 1991. Esse fenômeno reduziu a quantidade de luz solar na superfície da Terra em mais de 10% entre 1992 e 1993. Como esse fenômeno reduziu a quantidade de luz solar? E como os espelhos diminuiriam o aquecimento global? Leia a tirinha (Figura 16), responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:

## Física<sup>em</sup> QUADRINHOS

### CURIOSIDADES SOBRE ESPELHOS II



Figura 16: Curiosidades sobre Espelhos II.

- ▶ Como é mostrado na tirinha o reflexo da Lua? Desenhe como você imagina que seria. Há diferença?
- ▶ Nós enxergamos o pato e sua imagem refletida na água. Mas por que não vemos as patas da imagem do pato na Figura 17?



Figura 17: Diagrama das perguntas sobre a tirinha Curiosidades sobre Espelhos II – Figura 16.

(Foto: Hewitt, 2006).

## UNIDADE IV

Em muitos espetáculos de mágica ou ilusão, os ilusionistas levitam de diversas formas. Você já viu um ilusionista levitando?



Figura 18: Professor levitando na sala.

(Foto: Hewitt, 2006.)

Como mostra a Figura 18, o professor está levitando em uma sala. Ele parece desafiar a gravidade. Você saberia explicar o segredo desse truque?

Leia a tirinha (Figura 19) e discuta sobre o assunto com seus colegas:

## Física<sup>em</sup> QUADRINHOS

### CURIOSIDADES SOBRE ESPELHOS V



Figura 19: Curiosidades sobre Espelhos V.

► Como explicar esse truque?

## UNIDADE V

Alguns espelhos são usados em combinação. Leia as tirinhas das Figuras 20 e 21, responda as perguntas e discuta sobre o assunto com seus colegas:



Figura 20: Associação de Espelhos I.

A menina fala sobre “várias imagens”. Por isso, vamos fazer uma atividade. Fixe dois pequenos espelhos retangulares com fita adesiva de modo que possam girar em torno de um eixo comum. Coloque um pequeno objeto entre os espelhos. Quantas imagens você vê? Faça uma tabela contendo ângulo, meça com um transferidor, anote o número de imagens e faça uma relação entre as variáveis.



Figura 21: Associação de Espelhos II.

► Como podemos fazer para visualizar infinitas imagens usando espelhos?

Um brinquedo muito famoso é o caleidoscópio. Ele produz imagens belíssimas que encantam qualquer um que as veja. Você já viu um caleidoscópio e as imagens que ele produz? Eles são usados em decoração e são fontes de inspiração para muitos artistas. Leia a tirinha da Figura 22, faça a experiência e discuta com seus colegas como são formadas as belas imagens vistas em um caleidoscópio:



Figura 22: Curiosidades sobre Espelhos III.

Fixe dois pequenos espelhos retangulares com fita adesiva de modo que possam girar em torno de um eixo comum. Coloque esse conjunto em cima de um desenho. Observe os padrões em diferentes desenhos e em diferentes ângulos entre os espelhos. Discuta com seus colegas sobre os efeitos verificados e relacione-os com o que já foi aprendido anteriormente.

Os submarinos são veículos aquáticos utilizados para guerra que se movimentam, na maior parte do tempo, submersos no mar. Como os marinheiros enxergam a terra se eles estão submersos? Leia a tirinha da Figura 23, responda as perguntas e discuta com os colegas sobre o assunto:

## Física<sup>em</sup> QUADRINHOS

## CURIOSIDADES SOBRE ESPELHOS I

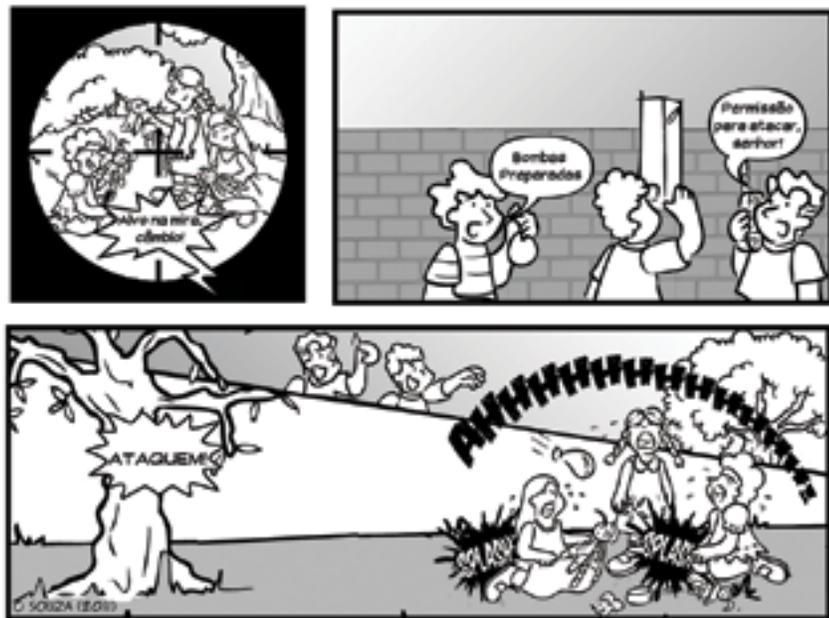


Figura 23: Curiosidades sobre Espelhos I.

- ▶ Os meninos utilizam um periscópio para observar as meninas. Periscópio é um instrumento óptico muito utilizado

em guerra para observar o inimigo de dentro das trincheiras ou de um submarino. Você pode fazer um esquema sobre a configuração de um periscópio?

- ▶ A partir do que você já discutiu sobre a formação da imagem em um espelho plano, estime a imagem da palavra Física observada no periscópio e depois confira sua estimativa com a observação do periscópio.

Vamos construir um periscópio utilizando os seguintes materiais:

- dois pedaços de espelho plano quadrados (ou retangulares);
- caixa de pasta de dente (ou semelhante);
- tesoura, cola ou fita crepe.

Com o periscópio, veja se sua previsão está correta. Agora observe objetos, pessoas e lugares. Por que não acontece o efeito da reversão da imagem?

Autor: Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza

Este trabalho é parte da monografia de final de curso, defendida em 9 de fevereiro de 2012 na Universidade do Rio de Janeiro, no curso de Licenciatura em Física, com o título *Física em Quadrinhos: Uma abordagem de ensino*.

Atualmente o autor é mestrando do programa de Pós-Graduação Ensino em Biociências e Saúde no Instituto Oswaldo Cruz da Fundação Oswaldo Cruz.

## Capítulo 10

# AS ONDAS DE RÁDIO E A QUESTÃO DAS “RÁDIOS-PIRATAS”

Ana Paula Damato Bemfeito

### INTRODUÇÃO

Propomos aqui uma sequência de etapas para trabalhar com ondas de rádio no ensino médio, com ênfase CTS. A partir da polêmica que envolve as rádios não legalizadas, denominadas rádios-piratas, escolhidas como tema organizador, propõe-se aqui uma trajetória que busca dar conta dos conceitos relacionados a esse conteúdo. A proposta sugere que os alunos realizem leituras e pesquisas, de modo a produzirem uma controvérsia simulada na forma de um debate. Além disso, devem realizar uma série de práticas ex-

ploratórias em sala de aula, de modo a simularem e “colocarem no ar” uma estação de rádio, usando um transmissor de ondas FM e um rádio comum. Nessa atividade poderão explorar, tanto de forma teórica, quanto prática, o fenômeno da interferência. Ao realizarem essas práticas, os alunos vão sendo apresentados ou se aprofundando nos conceitos físicos relacionados ao estudo das ondas. Só assim darão conta de se posicionarem quanto à questão de se as rádios-piratas podem atrapalhar ou não o tráfego aéreo. Para isso, é inevitável a compreensão de conceitos relacionados ao estudo das ondas, em particular, ao estudo das ondas de rádio e ao processo de comunicação através de seu uso, onde, inevitavelmente, conceitos como ondas eletromagnéticas, elementos das ondas periódicas, período e frequência, equação fundamental das ondas periódicas, interferência, harmônicos e algumas considerações sobre som são trabalhados. Portanto, a razão pela escolha desse tema é sua explícita necessidade de informação básica de ordens científica e tecnológica, assim como de ordem sociopolítica, e mesmo jurídica, para a formação de um posicionamento coerente e fundamentado sobre a questão, caracterizando uma evidente questão CTS para o ensino de Física com as seguintes dimensões:

**Sociopolítica:** nessa esfera surgem grandes polêmicas. Há defensores das rádios livres, outros solicitam políticas públicas de maior democratização do processo de outorga para o funcionamento de rádios comunitárias, outros ainda condenam essa popularização e denunciam desvios de finalidade. Também há denúncias por parte de cidadãos que se sentem privados de ouvir o que querem, pela interferência ou predomínio de rádios-piratas sobre outras legalizadas. Outros já denunciam o *lobby* das emissoras de rádio e TV junto ao governo, alimentando a cadeia histórica da centralização das concessões nas mãos de políticos ou de grandes empresas de comunicação. Aqueles que militam na causa pela democratização da permissão de funcionamento das rádios de fato comunitárias ou pelas rádios livres argumentam que as rádios comunitárias são canais fundamentais para a informação e a articulação entre os moradores de comunida-

des das periferias das grandes cidades. São estações de rádios cujo sustento cabe à própria comunidade e a gestão fica a cargo principalmente das associações de moradores. Juridicamente, esses defensores apoiam-se no princípio constitucional de direito à livre expressão e argumentam que toda campanha contra essas rádios de fato comunitárias se deve à questão de elas não servirem aos interesses das grandes corporações, reduzindo a audiência das rádios oficiais.

**Técnico-científica:** como citamos, a maior polêmica gira em torno da seguinte questão: as rádios-piratas realmente podem atrapalhar o tráfego aéreo, colocando em risco a segurança dos voos? É importante a percepção clara da distinção entre os aspectos sociopolíticos e os técnicos, em que se misturam frequentemente os argumentos. E é aí que uma distinção entre ambos se faz necessária. As questões a serem consideradas são:

- ▶ A banda de FM é ou não próxima demais da banda usada para a comunicação entre a torre de controle de aviões e pilotos?
- ▶ Há risco de frequências espúrias, em razão de equipamentos pouco estáveis provocarem interferência na comunicação com os aviões?
- ▶ Esses equipamentos permanecem menos estáveis por não estarem aprovados pela ANATEL, já que essas rádios não possuem permissão legal para funcionarem?

**Jurídica:** é a dimensão jurídica que discute o caráter legalista de um serviço de radiodifusão. É extenso o material existente no nosso ordenamento jurídico a respeito do assunto.

**Administrativa:** a administração dos serviços de telecomunicações no Brasil é feita pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) desde 1997. Há extenso material encontrado no site do Ministério das Comunicações sobre radiodifusão ([www.mc.gov.br/](http://www.mc.gov.br/)) para ser consultado.

## I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

Essa proposta tem o formato de uma sequência de atividades para provocar ações investigativas, a qual se fundamenta e se qualifica para formar uma opinião por parte do aluno a respeito da questão central: “*Você fecharia ou liberaria as rádios-piratas?*”.

Apresentamos, a seguir, algumas considerações sobre cada etapa. São observações específicas para o professor, as quais devem ser analisadas conjuntamente com o Quadro 1 e com a análise do Material para o Aluno.

### 1ª Etapa: Apresentação da proposta e do problema a ser explorado

Começamos o trabalho trazendo para os alunos, sem manifestação própria de opinião, a questão quanto ao fechamento ou não das rádios-piratas.

Depois da leitura do blog, sugerimos que o professor chame atenção para a realidade socioeconômica de quem, em geral, participa de fóruns como o que acabou de ser trabalhado. Será que ele é o reflexo dos interesses de todas as camadas sociais?

Lembramos que é importante que os alunos tragam para a próxima etapa o que é citado no Material para o Aluno – Atividade 2.

### 2ª Etapa: Simulando uma rádio

Nessa etapa, procuramos dar conta de fundamentar os alunos quanto aos aspectos técnico-científicos presentes na questão investigada. O texto para os alunos, com o detalhamento das etapas, encontra-se na Atividade 2. Sugerimos que oriente seus alunos para realizarem esses experimentos com uma intensidade sonora não muito grande, para que os grupos consigam trabalhar no mesmo espaço.

### 3ª Etapa: A questão das rádios-piratas. Discussão em sala de aula e formação dos grupos

No final dessa etapa, o professor propõe que se realize a atividade da *controvérsia simulada*, que terá o formato de um debate, constituído de vários atores com formação técnica ou posicionamentos diferenciados. Será proposta a formação de sete grupos, cada um representando um papel. O detalhamento do papel de cada grupo está no Material para o Aluno. Sugerimos que peçam aos alunos para que tragam à próxima aula uma corda de aproximadamente dois metros.

### 4ª Etapa: A fenomenologia envolvida no funcionamento do rádio

Na quarta etapa, durante o período que os alunos se preparam para o debate, serão aprofundados os conceitos físicos citados na Introdução, presentes na fenomenologia envolvida no funcionamento do rádio, destacando-se especialmente os processos de comunicação através de ondas de rádio. Os alunos podem realizar a leitura do texto apresentado na Atividade 3. Dependendo da turma, sugere-se o aprofundamento da discussão através do excelente material do Grupo de Reelaboração de Ensino de Física, acessível em [www.if.usp.br/gref/eletro/eletro5.pdf](http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro5.pdf) (Acesso em: out. de 2012).

### 5ª Etapa: O debate simulado

Se for viável para a instituição escolar, recomendamos que o debate seja assistido por alunos de outras turmas. Se a escola pudesse dispor de um equipamento de som, com microfones e amplificadores, filmadoras e gravadores (pode ser qualquer “aparelhinho” que reproduza MP3 com função gravação ou mesmo um aparelho celular), seria bem adequado.

### 6ª Etapa: Posicionamento e avaliação individual

A 6ª etapa será o momento no qual os alunos apresentarão oralmente e por escrito sua opinião sobre a questão. A avaliação poderá ser realizada ao longo de todo o processo, sendo esse momento adequado para uma análise mais individualizada, como também para a aprendizagem dos conceitos físicos trabalhados.

Para simplificar a visão panorâmica da proposta, trazemos o seguinte Quadro:

Quadro 1 – Resumo da Proposta

ENCONTRO	ATIVIDADES PROPOSTAS	RECURSOS UTILIZADOS	SOBRE OS CONCEITOS FÍSICOS TRABALHADOS
1º Encontro: Apresentação da Proposta e do Problema a ser Explorado	– Leitura do blog;  – Análise dos aspectos técnico-científicos e sociopolíticos presentes na polêmica das rádios-piratas.	– Material do aluno: atividade 1.	Nessa etapa, espera-se ambientar o aluno junto a conceitos presentes no blog, os quais serão explorados <i>a posteriori</i> , como frequência, interferência, banda de FM, banda de AM, harmônicos e modulação.

CONTINUAÇÃO.

ENCONTRO	ATIVIDADES PROPOSTAS	RECURSOS UTILIZADOS	SOBRE OS CONCEITOS FÍSICOS TRABALHADOS
2º Encontro: Simulando uma Rádio	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Exploração de um aparelho de rádio;</li> <li>-Simulação da construção de uma emissora de rádio usando um transmissor de FM;</li> <li>– Leitura de textos sobre os conceitos físicos trabalhados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Material do aluno: atividade 2.</li> </ul>	Tanto através de atividades de caráter investigativo, como da leitura dos textos, os alunos são levados à reflexão e a vivenciarem, tanto no plano teórico, quanto no prático, os conceitos de frequência, bandas de frequência, fenômeno da interferência, sistema de comunicação por ondas de rádio, além de explorarem o funcionamento das partes de um aparelho de rádio.
3º Encontro: A Questão das Rádios-Piratas – Discussão em Sala de Aula e Formação dos Grupos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Discussão em sala para compilação das questões polêmicas;</li> <li>– Formação dos grupos para o debate simulado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Material coletado pelos alunos;</li> <li>– Material do aluno: atividade 3.</li> </ul>	Nesse momento evidencia-se a necessidade de identificar se a banda de FM está ou não próxima da banda de comunicação usada pela aviação, levando inequivocamente à busca dessa resposta no site do Ministério da Ciência e Tecnologia, onde ele encontrará essas bandas identificadas.

CONTINUAÇÃO.

ENCONTRO	ATIVIDADES PROPOSTAS	RECURSOS UTILIZADOS	SOBRE OS CONCEITOS FÍSICOS TRABALHADOS
4º Encontro: A Fenomenologia Envolvida no Funcionamento do Rádio	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Discussão em sala de aula sobre os conceitos físicos presentes no funcionamento do rádio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Material do aluno: atividade 4.</li> </ul>	Nesse texto, de natureza teórica, são sistematizados e aprofundados todos os conceitos físicos citados anteriormente.
5º Encontro: O Debate Simulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>– O debate simulado, envolvendo parte da comunidade escolar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Material do aluno: atividade 5.</li> </ul>	Considera-se que o debate aprofunda e consolida os conceitos físicos trabalhados até aqui.
6º Encontro: Posicionamento e Avaliação Individual	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Posicionamento individual dos alunos diante da questão, fora dos papéis que representavam;</li> <li>- Avaliação por escrito do posicionamento e da coerência da fundamentação apresentada;</li> <li>– Avaliação da aprendizagem dos conceitos físicos trabalhados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Avaliações escritas e pré-elaboradas pelo professor.</li> </ul>	Entende-se aqui, como uma das funções do momento da avaliação, a reflexão e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no processo de aprendizagem.  Por isso, considera-se que esse momento também é útil para a compreensão dos conceitos físicos envolvidos na proposta.

## II. MATERIAL PARA O ALUNO

### Introduzindo a questão

São popularmente conhecidas como “rádios-piratas” os serviços de radiodifusão sonora (popularmente denominados “serviços de rádio”), em frequência modulada, de baixa potência e cobertura de curto alcance, os quais não solicitaram ou não foi concedida a autorização para o funcionamento de forma legalizada.

Muito se tem discutido sobre essas rádios. Na mídia, em geral, é frequente encontrarmos a questão sendo debatida, despertando discussões acaloradas. A polêmica também é recorrente nos meios jurídicos: no caso concreto, são vários os processos envolvendo o fechamento ou não de rádios comunitárias que funcionam sem permissão. Os especialistas do Direito discutem a legislação vigente sobre os serviços de radiodifusão, em particular a questão das rádios comunitárias.

Na prática, a programação apresentada por essas rádios é das mais variadas e voltada para os mais diversos objetivos, lícitos ou ilícitos.

Qual é o contexto no qual uma rádio é denominada de pirata? Por que a questão desperta tanta polêmica? Quais são as informações básicas para se formar um juízo de valor fundamentado sobre o assunto? Percorreremos aqui um caminho voltado para ajudá-los a se posicionarem nessa controvérsia, considerando todas as dimensões envolvidas. A questão que queremos que vocês respondam, no final desse projeto, é:

*Você fecharia ou liberaria as rádios-piratas?*

Para isso, vocês percorrerão uma trajetória de leituras e de pesquisa, de modo a, no final, simularem um debate.

### Atividade 1: Determinação dos aspectos técnico-científicos e sociopolíticos relacionados à questão das rádios-piratas

Para a realização dessa atividade, dividam-se em grupos com três ou quatro componentes. O material necessário é o texto do blog “Você fecharia as rádios-piratas” e canetas de duas cores distintas.

(Os trechos do blog seguem em versão original.  
Não houve correção ortográfica.)

- 1º) Sublinhem no texto, com caneta vermelha, os aspectos técnico-científicos que surgiram no debate apresentado no blog.
- 2º) Agora façam o mesmo, com caneta azul ou preta, para os aspectos sociopolíticos que surgiram no debate.
- 3º) Elaborem uma lista com os aspectos técnico-científicos sublinhados constituída por itens formados por frases curtas ou por apenas uma palavra, mesmo que esses conceitos não tenham significado ainda para vocês.
- 4º) Agora façam uma lista similar constituída pelos aspectos sociopolíticos.
- 5º) Entreguem as listas para seu professor.

### O BLOG

Segue uma seleção de *posts* do blog no site de autoria do jornalista Luiz Carlos Azenha, denominado “Vi o Mundo” (disponível em: [www.viomundo.com.br](http://www.viomundo.com.br)).

O jornalista posta a seguinte questão: Você Fecharia As Rádios-Piratas?

(Os trechos sublinhados são nossos.)

**E provoca:** Dizem que as rádios-piratas derrubam avião. Já vi dúzias de reportagens a respeito, com gravações de rádios captadas na cabine de comando. Não entendo do ramo. Elas devem ser fechadas? Podem mesmo derrubar um avião? Quem faz campanha contra? Quem faz campanha a favor? E o que dizer desse nome, “rádio-pirata”?

**Pedro:** “É interessante saber que em São Paulo, capital onde aconteceu o acidente da Gol, o qual acabou dando destaque às rádios-piratas, existem entidades esperando por mais de 10 anos uma concessão de rádio comunitária para entrarem no ar dentro da lei. Não é estranho darem destaque para os problemas que as rádios-piratas causam e não procurarem o motivo de elas existirem? Se alguém tiver a curiosidade de verificar a lei que regulamenta as rádios comunitárias vai se deparar com uma série de barreiras. Um exemplo: o fato de não ter fins lucrativos não quer dizer que uma rádio comunitária não deva ter meios de se sustentar, mas a lei restringe as propagandas a ‘apoio cultural’, precisando os anunciantes localizarem-se a no máximo um quilômetro da rádio, levando em conta que normalmente as rádios estão em zonas pobres – quando não em favelas –, locais onde praticamente não existem anunciantes. Ou então o fato de essas mesmas rádios terem um raio de cobertura de um quilômetro, quando sabemos que existem comunidades muito maiores que isso e em formatos que inviabilizam esse tipo de restrição. Isso pra não falar das mutretas das ‘piratonas’; para quem quiser saber sobre isso, dê uma olhada: [www.direitoacomunicacao.org.br/novo/content.php?option=com\\_content&task=view&id=1139](http://www.direitoacomunicacao.org.br/novo/content.php?option=com_content&task=view&id=1139)”.

**Neo-tupi:** “Azenha, as rádios comunitárias devem ser legalizadas. As piratas não são uma boa, devem ser incentivadas a se legalizarem ou precisam ser fechadas mesmo, porque senão haverá uma guerra de frequências (duas rádios ocupando a mesma

frequência na mesma área, uma se sobrepõe à outra e nenhuma das duas é ouvida). Aqui no Rio, de manhã, têm muitos bares e restaurantes na zona sul onde os trabalhadores começam a trabalhar cedo, fazendo limpeza, comprando insumos para fazer o almoço etc. Muitos desses trabalhadores moram na Rocinha e é muito comum vê-los ouvindo a Rádio Comunitária da Rocinha (legalizada com transmissões em FM). Porém, isso tira audiência das rádios comerciais. Daí o *lobbie* contra. Quanto à interferência em aviões, isso é lenda urbana. As rádios comunitárias usam frequências que o receptor de rádio comercial pega. As frequências de comunicação aérea são outras. Essa lenda é tão absurda que, se fossem as mesmas frequências, até as emissoras comerciais interfeririam nos aviões”.

**Ricardo Lima:** “Azenha, sou piloto comercial há 20 anos. A interferência por rádios é fato consumado. Atrapalha e muito porque, em uma área como a de São Paulo, a comunicação controlador-pilotos é intensa. Qualquer dificuldade nesse sentido pode complicar a separação entre as aeronaves. Dizer que interferência no rádio derruba avião é especular. Até onde sei, nunca houve acidente específico. Mas o que poderia ocorrer (e isso é bastante grave) é que se a interferência for muito longa, duas aeronaves convergentes poderiam não receber instruções adequadas de separação (instruções de curvas e mudanças de altitude), ocasionando uma eventual proximidade perigosa entre elas. Em suma, é um problema real, sério. A questão de ser rádio-pirata ou não é outra história. Mistura-se alho com bugalhos. Mistura-se uma questão social com uma técnica. O que dá margem a oportunismos diversos. Parabéns pelo seu jornalismo”.

**Benê Ramos:** “Caro Ricardo. Uma pergunta para você, que é piloto, ou aos demais colegas que entendem do assunto. Uma rádio-pirata tem de transmitir na mesma faixa de frequência

das rádios ‘não piratas’, não é verdade? Pois elas não teriam um grande número de receptores comerciais para captá-las se não fossem interessantes. Dizer que os transmissores vazam frequências espúrias e estas, sim, poderiam causar interferências até dá para aceitar. Mas os transmissores que as piratas utilizam são cada vez melhores e estáveis. Agora não tenho certeza; então, alguém poderia me dizer em qual faixa de frequência ocorre a interferência? Vamos analisar isso com carinho, não sou a favor, nem contra as rádios-piratas. Gostaria de ter mais informações para formar uma opinião”.

Alexandre de Aguiar: “Não tenho a base científica necessária para afirmar se é possível que haja interferência na aviação. Digo, porém, que não é uma interferência direta. Em rápida leitura, descobri que a faixa de aviação começa onde termina a faixa do cidadão em FM. Só que, pelo que entendi, a aviação usa AM. Existe um tal de ‘campo harmônico’, que é uma espécie de ‘eco’ da modulação em outras frequências, em potência mais baixa. Só não sei dizer se a faixa de AM do cidadão, que opera de quinhentos e poucos quilo-hertz até alguns mega-hertz, pode interferir na faixa de aviação através desse ‘campo harmônico’. Pelo que sei, é necessária uma potência bem razoável para isso ocorrer, mas vá lá. Também acho que essa proibição é política-gem. Achei, também, uma discussão em um site que trata justamente disso: [www.radiolivres.org/node/191](http://www.radiolivres.org/node/191)”.

**André:** “Considerando que os baluartes das campanhas contra as rádios comunitárias – sempre chamadas de rádios-piratas por eles – são os barões da mídia corporativa e o Hélio Costa, preposto deles no Ministério das Comunicações... As rádios comunitárias são fontes importantes de informação e de articulação para comunidades urbanas situadas nas periferias. Muitas delas

são geridas pela própria comunidade, através de associações de moradores e de algumas entidades do terceiro setor. Quem manda na programação é a comunidade, não os patrocinadores. Talvez por isso ninguém pergunte a essas comunidades o que elas acham sobre o fechamento de suas rádios”.

### Atividade para casa

A polêmica foi colocada. Agora é o momento da pesquisa na internet, em jornais e revistas, de entrevistar pessoas (caso seja essa a escolha, registrem as entrevistas em um resumo) sobre as questões que envolvem a liberação ou proibição das rádios-piratas. Completem o levantamento feito preliminarmente nessa etapa referente às “questões polêmicas” presentes nessa discussão, separando as que envolvem os aspectos técnico-científicos dos aspectos sociopolíticos envolvidos. Leiam, informem-se e analisem o assunto. Guardem em uma pasta o material coletado pelo grupo para o debate em sala de aula que ocorrerá em breve.

### Seguem alguns sites sugeridos:

- ▶ [www.radiolivres.org/](http://www.radiolivres.org/)
- ▶ [www.mc.gov.br/](http://www.mc.gov.br/) (Ministério das Comunicações)

### Atividade 2: Simulando uma rádio

Os objetivos dessa atividade são a compreensão do funcionamento básico de um rádio e a função de seus componentes principais,

assim como iniciar a compreensão dos conceitos de ondas eletromagnética e sonora, frequência, comprimento de onda, reflexão de ondas e interferência.

A atividade abaixo será realizada com a turma dividida em grupos com três ou quatro componentes.

Para a realização dessa atividade serão necessários os seguintes materiais: um dispositivo que efetue gravações por voz, com saída de áudio RCA; um rádio portátil (de preferência com visor digital) funcionando com pilhas; papel-alumínio, plástico, papel celofane, papel pardo e um transmissor de FM, encontrado em lojas de informática e de eletrônicos (será necessário um transmissor para cada grupo).

Nesse momento, vocês explorarão o funcionamento básico do rádio, explorando o aparelho e verificando as funções de seus componentes.

I. O que denominamos normalmente de “rádio” é, na verdade, um receptor de ondas de rádio. Hoje esse aparelhinho pode ser muito pequeno, estar embutido na maioria dos que tocam MP3 e ser frequente nos celulares. Em seus primórdios, já teve dimensões bem maiores. Primeiramente, vamos explorar um pouco sobre o receptor de ondas de rádio mais frequente no nosso dia a dia: o receptor de FM/AM. Todos os componentes do grupo deverão colocar seus rádios em cima da mesa. Comparem os visores desses rádios. Denominamos de “banda de FM” a parte que possui os números que sintonizamos as estações de FM, e de “banda de AM” a que sintoniza as estações de AM. Responda as perguntas abaixo em seu caderno. Não se preocupe se não souber responder todas as perguntas. Os textos a seguir ajudarão você a respondê-las.

As cinco primeiras perguntas abaixo são adaptadas a partir do material do Grupo de Reelaboração de Ensino de Física (GREF),

que está disponível para *download* em [www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html](http://www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html).

- 1- Os dados correspondentes à banda de FM variam entre que valores numéricos? E os de AM?
- 2- Qual é a unidade desses dados?
- 3- Qual é a finalidade de cada botão, chave seletora, entradas e saídas presentes no aparelho?
- 4- Quais são suas alternativas como fonte de energia?
- 5- Por onde são recebidos os sinais emitidos pelas estações?

II. Imagine-se como um radialista. Grave uma simulação de um programa de rádio no seu aparelhinho MP3. Um “programa” de uns 10 minutos está bom. Use sua criatividade. Em seguida, conecte seu transmissor de FM no MP3, selecione uma determinada frequência no transmissor de FM e ligue o rádio (ou o segundo MP3 player que está sendo usado como receptor – nesse caso, plugue nele as caixinhas de som). Sintonize o rádio na mesma frequência que você selecionou no transmissor de FM.



Figura 1: Transmissor de FM.



Figura 2: Dispositivo para gravar voz, com saída de áudio.



Figura 3: Transmissor de FM plugado no MP3 Player, transmitindo para um rádio.

1) O que acontece?

III. Vamos fazer o caminho inverso. Sintonize o rádio (ou o segundo MP3 player que está sendo usado como receptor) em uma estação pré-escolhida. Selecione o transmissor de FM para a mesma estação. Mantenha o MP3 emissor ligado e plugado no transmissor de FM. Qual transmissão está prevalecendo: “sua” estação ou a estação comercial que estava “tocando” antes de ligar o transmissor?

Se for “sua” estação, a criada por vocês, afaste o transmissor de FM do rádio até prevalecer a estação que estava tocando

antes. Se for a estação que estava tocando antes, aproxime o transmissor de FM da antena até “sua” estação “tocar” no rádio. Existe um momento nessa “troca” de transmissões no qual parece que as duas estão tocando juntas, às vezes prevalecendo uma, às vezes outra.

1) O que está acontecendo no momento destacado acima?

IV. Ligue o 2º transmissor de FM exatamente na frequência que vocês trabalharam no 3º momento.

1- O que aconteceu?

V. Troque os dois transmissores de lugar, plugando o 2º transmissor no MP3 e o 1º permanecendo apenas ligado, não conectado a nada.

1- O que aconteceu?

### Texto 1

Ao observarmos o rádio, concluímos que a “banda de FM” varia de 88 a 108 MHz e a de AM varia de 530 a 1.710 kHz. Mais adiante veremos o significado dessas unidades. Qualquer aparelho de rádio apresenta um botão para sintonia da estação, outro para volume, visor para identificação da estação, alto-falante e antena (mesmo o “radinho de pilha” tem uma antena que se localiza na parte interna do aparelho), além de uma ligação com a fonte de energia elétrica (pilha e/ou tomada). A função dessa fonte de energia é fazer funcionar o circuito elétrico interno do aparelho. As mensagens são recebidas através da antena, que pode ser interna ou externa. Posteriormente, o som, ainda transformado em corrente elétrica, é enviado até o circuito do alto-falante. Mesmo com ele

estando desligado, a antena está recebendo as informações transmitidas pelas estações; entretanto, elas não são transformadas e recuperadas como som, pois os circuitos elétricos encontram-se desligados. (...).

O sistema pelo qual transmitimos o som do rádio envolve várias etapas. No microfone da estação até o alto-falante do aparelho receptor, o som passa por várias fases e sofre diversas transformações:

- ▶ produção de som pela voz humana, música etc.;
- ▶ as ondas sonoras são variações da pressão do ar que atingem o microfone;
- ▶ no microfone o som é convertido em corrente elétrica alternada de baixa frequência;
- ▶ essa corrente elétrica de baixa frequência é “misturada” com uma corrente de alta frequência, produzida na estação que serve para identificá-las no visor do aparelho. Além disso, essa corrente elétrica de alta frequência serve como se fosse o veículo através do qual o som será transportado através do espaço até os aparelhos de rádio;
- ▶ essa “nova” corrente elétrica se estabelece na antena da estação transmissora e através do espaço a informação se propaga em todas as direções;
- ▶ a antena do aparelho de rádio colocada nesse espaço captará essa informação;
- ▶ se o aparelho estiver sintonizado na frequência da corrente produzida pela estação, o som poderá ser ouvido pelo alto-falante.

(Adaptado do livro do Grupo de Reelaboração de Ensino de Física (GREF), que está disponível para download em [www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html](http://www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html).)

### Atividade 3: Organizando os grupos constituintes da Controvérsia Simulada

Como vem sendo trabalhado em sala de aula, a polêmica em torno das rádios não legalizadas, denominadas de rádios-piratas, apresenta várias facetas e aspectos e envolve questões científicas, técnicas, jurídicas, sociológicas, políticas e administrativas.

Por conta desse contexto, o trabalho que vocês iniciarão nesse momento tem como meta promover a simulação de debate na escola, a partir de um trabalho de pesquisa com vários grupos que assumem papéis e posicionamentos bem definidos.

Portanto, lembrem-se: procurem manter o foco no papel que lhes cabe desenvolver nessa simulação. Fiquem atentos, pois a questão central é: *você é a favor do fechamento das rádios não legalizadas, as denominadas rádios-piratas?*

Propomos que vocês se organizem em sete grupos, conforme descrição a seguir:

(Para se aprofundar na discussão, em todas as dimensões envolvidas, sugere-se a consulta do site do Ministério das Comunicações. No menu, clique no link “Rádio e TV” ou através do endereço: [www.mc.gov.br/radio-e-tv/aco-es-e-programas](http://www.mc.gov.br/radio-e-tv/aco-es-e-programas). Acesso em: out. de 2012.)

**Grupo 1** – defende rigorosamente a proibição das rádios-piratas: composto por representantes de entidades que os alunos determinarão, e também por pessoas comuns que concordam com esse posicionamento. Também defende rigorosa ação do poder estatal no combate a essas rádios.

**Grupo 2** – defende a posição da liberalização das rádios não legalizadas, sugerindo mudanças nas exigências legais e adminis-

trativas, para que possam funcionar livremente: composto por membros da sociedade que se beneficiam de alguma forma do funcionamento de uma rádio que, por alguma razão, não está legalizada.

**Grupo 3** – formado por técnicos e cientistas requisitados antes e durante o debate pelos grupos 1 ou 2, dando informações técnicas e evitando a emissão de juízos de valor. O grupo pesquisará e listará as questões técnicas envolvidas na polêmica e elaborará um documento que registre as respostas para essas questões.

**Grupo 4** – formado por sociólogos requisitados pelos grupos 1 ou 2, dando informações específicas e evitando a emissão de juízos de valor. O grupo pesquisará e listará as questões sociológicas e políticas envolvidas na polêmica e elaborará um documento que registre as respostas para essas questões.

**Grupo 5** – formado por especialistas do mundo jurídico requisitados pelos grupos 1 ou 2, dando informações específicas e apresentando argumentos que possam validar juridicamente o posicionamento dos outros grupos. O grupo se fundamentará para esse apoio jurídico, estudando leis e posicionamentos jurídicos envolvidos na polêmica em questão, e listará as questões legais presentes. Elaborará um documento que registre as respostas para essas questões.

**Grupo 6** – formado por membros do governo que conhecem a organização administrativa referente à questão da radiodifusão no Brasil. Poderão ser requisitados pelos grupos 1 ou 2, dando informações específicas e apresentando argumentos que possam validar o posicionamento dos outros grupos. O grupo

se fundamentará para esse apoio, estudando e pesquisando as questões que envolvem os aspectos organizacionais presentes na polêmica, e elaborará um documento que registre as respostas para essas questões.

**Grupo 7** – formado por jornalistas (um deles eleito o condutor do debate) que deverão controlar o tempo das intervenções, réplicas e trélicas no debate, solicitar conclusões, elaborar perguntas que poderão ter vindo da plateia ou de colegas jornalistas. Os jornalistas deverão redigir, antes, durante e após o debate, uma reportagem sobre ele. A qualificação desse debate pode ser obtida através de pesquisas sobre o tema, análise de vídeos sobre condução de debates e produção de um texto jornalístico.

*Documentos a serem produzidos pelos grupos:*

Os grupos 1 e 2 produzirão um documento, que deverá ser entregue ao professor na 7ª Etapa (Pré-debate). Esse modelo de documento é encontrado em [www.campus-oei.org/salactsi/alvaro.htm](http://www.campus-oei.org/salactsi/alvaro.htm), no material *Proibição do Fumo: decisão pessoal ou social?* (Item 6), (CHRISPINO, 2004).

Seguem mais alguns *links* de textos relacionados ao tema, como matérias jornalísticas, artigos jurídicos, entre outros:

- ▶ Gol: rádios-piratas não põem em risco voos

[noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI1657961-EI7896,00.html](http://noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI1657961-EI7896,00.html) (Acesso em: set. de 2011)

- ▶ Rádio-pirata atrapalha comunicação entre avião e torre

[g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL32806-5598,00.html](http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL32806-5598,00.html) (Acesso em: set. de 2011)

- ▶ Ação para reabertura de rádio comunitária

[jus.com.br/revista/texto/16406/acao-para-reabertura-de-radio-comunitaria](http://jus.com.br/revista/texto/16406/acao-para-reabertura-de-radio-comunitaria) (Acesso em: set. de 2011)

- ▶ Rádio comunitária. Ilegal? Crime?

[jus.com.br/revista/texto/502/radio-comunitaria](http://jus.com.br/revista/texto/502/radio-comunitaria) (Acesso em: set. de 2011)

- ▶ A Onda Pirata

[www.ruadebaixo.com/a-onda-pirata.html](http://www.ruadebaixo.com/a-onda-pirata.html) (Acesso em: set. de 2011)

#### Atividade 4: A fenomenologia

Leia o texto abaixo e realize as atividades propostas ao longo da leitura. Para essa aula, você precisará de uma corda de dois metros aproximadamente.

Para entender o que é uma onda, pegue a corda e procure reproduzir, junto a um amigo, a situação descrita abaixo.



Figura 4: Produção de pulsos em uma corda.

Fonte: BEMFEITO, Ana Paula; PINTO, Carlos Eduardo; PEREIRA, Ana Maria; SANTANA, Margarida; WALDHELM, Mônica. *Passaporte para Ciências*. 1ª ed. São Paulo: Ed. do Brasil, 2006 (Ilustração de Dawidson França)

Se sua mão reproduzir várias vezes esse movimento de subida e descida, às vezes rápida e às vezes lentamente, serão produzidos vários pulsos. É essa sucessão de pulsos que chamamos de *onda*. Se você levantar sua mão, depois abaixá-la, passando pelo local de origem, descer e voltar novamente ao local de origem no mesmo intervalo de tempo, produzirá uma onda na qual os pulsos levarão sempre o mesmo intervalo de tempo para serem gerados. Tudo o que se repete sempre da mesma forma, em um mesmo intervalo de tempo, é denominado *periódico*; por exemplo, as fases da Lua e as estações do ano são fenômenos periódicos. Por isso, podemos denominar esses pulsos que você está gerando de *ondas periódicas*. Nesse caso, sua mão faz o papel da *fonte*, ou seja, é o agente responsável pela geração das ondas.

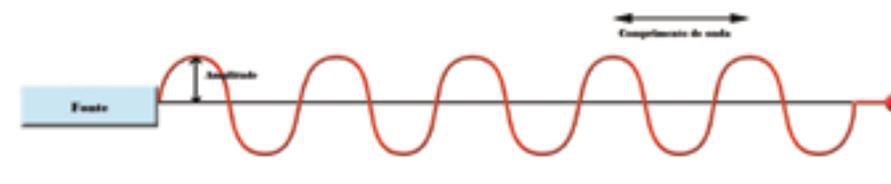


Figura 5: Onda periódica, destacando seu comprimento de onda e amplitude.

Fonte: BEMFEITO, Ana Paula; PINTO, Carlos Eduardo; PEREIRA, Ana Maria; SANTANA, Margarida; WALDHELM, Mônica. *Passaporte para Ciências*. 1ª ed. São Paulo: Ed. do Brasil, 2006 (Ilustração de Luis Moura)

Se a fonte sempre repete o mesmo movimento durante o mesmo intervalo de tempo, cria-se uma onda periódica. Em uma onda periódica, denominamos como *período* o tempo gasto para produzir uma oscilação completa (um ciclo), ou seja, é o tempo que a fonte gera um ciclo de subida e um de descida completos. Já a *frequência* é o número de oscilações completas (ciclos) geradas por unidade de tempo (minuto, segundo etc.). No Sistema Internacional de Medidas (SI), a unidade do período é o *segundo*, e a unidade da frequência é o ciclo por segundo, denominado *hertz* (Hz). Para

indicar a frequência de uma onda, também são utilizados os múltiplos do hertz:

- o quilo-hertz (kHz), que equivale a 1.000 Hz;
- o mega-hertz (MHz), que equivale a um milhão de hertz;
- o giga-hertz (GHz), que equivale a um bilhão de hertz.

Quando afirmamos que a frequência de uma estação de rádio é de 99,7 mega-hertz, estamos dizendo que a onda de rádio que corresponde a essa estação possui 99,7 milhões de oscilações por segundo. Se os elétrons em uma antena transmissora vibram, por exemplo, 940.000 vezes por segundo, produzem ondas de rádio de 940 kHz.

### Espectro eletromagnético

As ondas podem ser mecânicas ou eletromagnéticas. São mecânicas quando necessitam de um meio para se propagar. Já as ondas eletromagnéticas não necessitam de meio material, podendo propagar-se no vácuo. As ondas eletromagnéticas diferem entre si quanto à frequência. Portanto, podemos organizá-las em uma sequência ordenada no sentido crescente das frequências ou no sentido decrescente dos comprimentos de onda. Essa sequência é chamada *espectro eletromagnético*. Cada região desse espectro corresponde a ondas que apresentam determinada faixa de frequência e que possuem aplicação distinta.

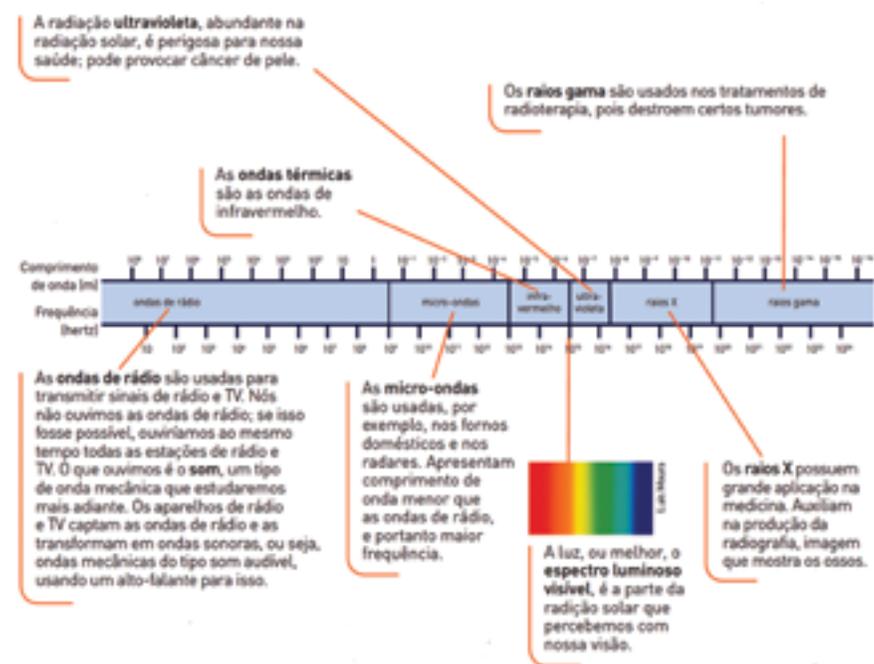
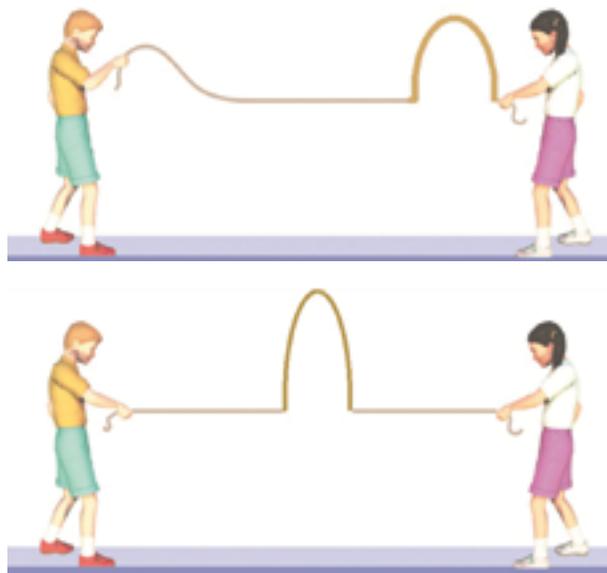


Figura 6: Espectro Eletromagnético.

Fonte: BEMFEITO, Ana Paula; PINTO, Carlos Eduardo; PEREIRA, Ana Maria; SANTANA, Margarida; WALDHELM, Mônica. *Passaporte para Ciências*. 1ª ed. São Paulo: Ed. do Brasil, 2006.

As ondas de rádio são usadas para transmitir sinais de rádio, TV e telefone celular.

As ondas eletromagnéticas apresentam comportamentos variados ao interagirem com a matéria e entre si. Esses comportamentos caracterizam os fenômenos ondulatórios. Um desses fenômenos é a *interferência*, que ocorre quando há superposição de pulsos. Como ela ocorre? Imagine que você e um amigo seguram novamente a corda esticada, cada um segurando um dos extremos, como mostra a Figura abaixo:



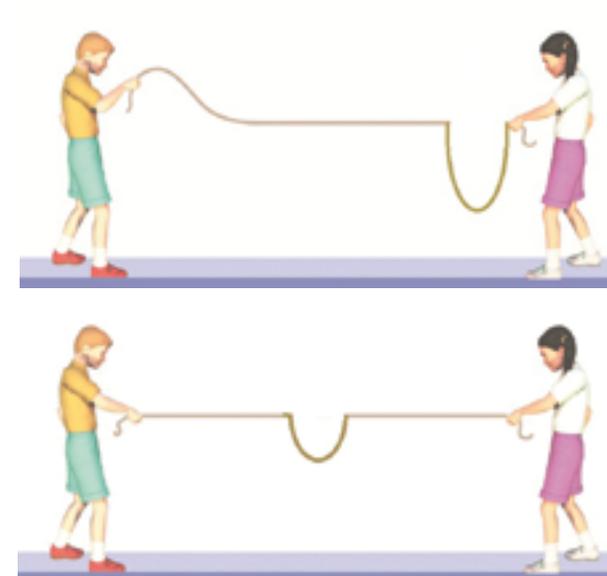
No cruzamento haverá uma superposição dos efeitos de cada um individualmente. A esse fenômeno denominamos interferência.

No exemplo que analisamos, se o pulso da esquerda tiver uma amplitude  $A$  e o da direita  $B$ , o pulso no momento do cruzamento terá amplitude  $A + B$ . Essa interferência é o que denominamos de interferência construtiva.

Figura 7: Interferência construtiva

Fonte: BEMFEITO, Ana Paula; PINTO, Carlos Eduardo; PEREIRA, Ana Maria; SANTANA, Margarida; WALDHELM, Mônica. *Passaporte para Ciências*. 1ª ed. São Paulo: Ed. do Brasil, 2006

Agora você e seu amigo produzem, cada um, um pulso, da forma que vemos na página ao lado:



Se o pulso da esquerda tiver uma amplitude  $A$  e o da direita  $B$ , o pulso no momento do cruzamento terá amplitude  $B - A$ . A essa interferência damos o nome de interferência destrutiva

Figura 8: Interferência destrutiva

Fonte: BEMFEITO, Ana Paula; PINTO, Carlos Eduardo; PEREIRA, Ana Maria; SANTANA, Margarida; WALDHELM, Mônica. *Passaporte para Ciências*. 1ª ed. São Paulo: Ed. do Brasil, 2006.

É a interferência um fenômeno que está ocorrendo na atividade que fizemos com o transmissor de FM, no momento que duas estações de rádio, de mesma frequência, são captadas pelo receptor de ondas de rádio. Um rádio sofre interferência constante. É a interferência também um fenômeno que faz com que a transmissão de uma estação se superponha à outra, seja integral ou parcialmente. A interferência pode ser observada ainda ao ligar, próximo a um rádio, um liquidificador, um secador de cabelo, um barbeador, entre outros eletrodomésticos.

Após essa discussão, recomendamos uma visita no site da Anatel: [www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do](http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do). Clicando em “Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil (PDF)”, pode ser pesquisado, para

cada faixa de frequência, sua atribuição, distribuição e regulamentação. Um destaque nessa pesquisa se encontra ao acessar a faixa de 88 a 108 MHz (cuja atribuição é radiofusão sonora em FM – [sistemas.anatel.gov.br/pdf/Consulta/FreqConsulta.Asp?inpNumFaixa=361&intPagina=12&intLivro=1](http://sistemas.anatel.gov.br/pdf/Consulta/FreqConsulta.Asp?inpNumFaixa=361&intPagina=12&intLivro=1)). Em seguida, acesse a faixa de 108 – 117,975 MHz, cuja atribuição é RADIONAVEGAÇÃO AERONÁUTICA ([sistemas.anatel.gov.br/pdf/Consulta/FreqConsulta.Asp?inpNumFaixa=362&intPagina=12&intLivro=1](http://sistemas.anatel.gov.br/pdf/Consulta/FreqConsulta.Asp?inpNumFaixa=362&intPagina=12&intLivro=1)). Acesso em: out. de 2012).

### Atividade 5: Orientações para o debate simulado

#### *Sobre a organização do espaço*

O local ideal para esse evento é um auditório. Caso esse espaço não exista na escola, pode-se usar qualquer espaço em que se possa obter uma estrutura a mais próxima possível dessa descrita anteriormente. Serão necessárias mesas para os seis grupos e uma área para os “jornalistas”. O aluno selecionado para ser o mediador do debate deve estar posicionado no local mais visível da área. Sugere-se um pequeno cartaz pendurado à frente das mesas dos grupos para identificá-los para o público.

#### *As etapas do debate*

**I.** O mediador se apresenta e cumprimenta os representantes de todos os segmentos presentes: direção, coordenações, professores, funcionários de apoio, alunos, familiares e amigos. Apresenta um resumo da questão que será debatida. Convida para as mesas os debatedores e, em seguida, os especialistas. O mediador apresenta a sequência e as normas do debate.

**II.** Cada grupo se apresenta representando seu papel. Os dois grupos, pró e contra, colocam o que defenderão. Os grupos de especialistas apresentam suas áreas de especialidade e a atividade profissional exercida por cada membro.

**III.** Exposição oral dos dois grupos, o que defende a proibição e o que defende a liberação das rádios não legalizadas. Por um período de 15 a 20 minutos, cada grupo se posicionará com os argumentos para tal, destacando as fontes e os fatos em que se baseou para fundamentá-los. Quando os argumentos se fundamentarem em conhecimentos dos especialistas, esses poderão ser convidados a se colocarem da forma mais técnica possível.

**IV.** O debate se inicia. Um dos grupos pró ou contra a liberação é sorteado pelo mediador para fazer a primeira pergunta. O debate obedecerá às seguintes normas: o grupo X fará uma pergunta para o grupo Y. O grupo Y terá três minutos para responder. O grupo X terá três minutos para a réplica. O grupo Y terá três minutos para a tréplica. O mediador controlará todas essas etapas, podendo impedir alguma fala, caso ela ultrapasse o bom nível de argumentação. Também nessa etapa, quando os argumentos se fundamentarem em posicionamentos dos especialistas, eles poderão ser convidados. O tempo usado pelos especialistas deverá ser descontado do tempo dos debatedores.

**V.** Perguntas dos jornalistas, para os grupos pró ou contra, ou para os especialistas, controladas pelo mediador. Sugere-se dois minutos para cada resposta.

VI. Perguntas do público para os grupos pró ou contra, ou para os especialistas, controladas pelo mediador. As perguntas poderão ser feitas a partir de um gesto, como levantar a mão, e após a autorização do mediador. Sugere-se dois minutos para cada resposta. Em caso de surgimento de muitas perguntas, uma lista de inscrição poderá ser feita, de modo a evitar que ocorram tumultos.

VII. Considerações finais de cada grupo pró e contra. Sugere-se cinco minutos para cada um dos dois grupos.

O professor estará ao lado do mediador, apoiando-o e orientando-o, caso necessário.

### 7ª etapa: Avaliação individual

Nessa etapa vocês terão a oportunidade de expressarem suas opiniões individuais sobre a questão das rádios-piratas, de forma fundamentada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEMFEITO, A. P. D.; PINTO, C. E.; PEREIRA, A. M.; SANTANA, M.; WALDHELM, M. *Passaporte para Ciências*. 1ª ed. São Paulo: Ed. do Brasil, 2006.

CHRISPINO, A. *Proibição do Fumo: decisão pessoal ou social? Simulação educativa de um caso CTS sobre a saúde*, 2004. Disponível em: <<http://www.oei.es/salactsi/alvaro.htm>>. Acesso em: 21 abr. 2008.

GRAF – Grupo de Reelaboração de Ensino de Física. *Física 3 – Eletromagnetismo*. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1995.

\_\_\_\_\_. *Leituras de Física – Eletromagnetismo*. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html>>. Acesso em: set. 2012.

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

PAGANELLI, W. Rádio comunitária. Ilegal? Crime? *Jus Navigandi*, Teresina, ano 2, n. 21, nov. 1997. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=502>>. Acesso em: 13 jul. 2012

PENHA, S. P. *A física e a sociedade na TV*. Dissertação de M.Sc., PPE-CM/CEFET/RJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

RAMOS, M. B.; SILVA, H. C. Para pensar as controvérsias científicas em aulas de ciências. *Ciência & Ensino*, v. 1, n. especial, 2007.

TORRES, C. M. A. *et al. Física: ciência e tecnologia*. São Paulo: Moderna, 2001.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. *Ciência & Ensino*, v. 1, n. especial, 2007.

**Autora: Ana Paula Damato Bemfeito**

Este trabalho é parte da dissertação defendida em 8 de setembro de 2008 no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ, com o título *Ondas de Rádio no Ensino médio com Ênfase CTS*.

Atualmente a autora é doutoranda em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (HCTE/UFRJ) e atua como pesquisadora, professora e coordenadora de curso no Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ).

## Capítulo 11

# RAIOS X

*Fabio Ferreira de Oliveira*

### INTRODUÇÃO

A presente proposta metodológica baseia-se em trabalhos na área de ensino de Física, em particular no trabalho de Ostermann & Moreira (2000), que mostra que professores e pesquisadores da área de Física consideraram importante a introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. Foi elaborada uma lista com assuntos de maior interesse e destaque, e um dos temas sugeridos foram os raios X. Adotamos esse tema como base para nossa proposta.

Outro fator que contribuiu para a escolha do tema foi o texto das Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio de Física (BRASIL,

2002), em que, na sugestão das unidades temáticas, temos o tópico *Radiações e suas Interações*, cujo conteúdo prevê a compreensão da interação das radiações com o meio material e o estudo de fenômenos que envolvem, por exemplo, as radiografias.

Os raios X têm diversas aplicações no dia a dia, não somente na Medicina ou na Odontologia. Nesse sentido é importante conhecermos essas técnicas que utilizam essa radiação em outras áreas científicas e verificar de que forma elas podem contribuir para que possamos melhorar a qualidade de vida da sociedade em que vivemos.

O material a seguir possui, inicialmente, orientações e sugestões para que o professor possa iniciar uma sequência didática inspirada na perspectiva Ciência – Tecnologia – Sociedade (CTS) para o ensino de ciências, também chamado de Enfoque CTS, que é apresentada no *Material para o Aluno*. Cada texto tem uma *orientação metodológica para o professor*, com sugestões de questões para discussão, atividades, *links*, sites e livros didáticos que podem auxiliá-lo na elaboração das atividades. O material completo pode ser acessado em [www.educacao.ufrj.br/ppge/dissertacoes/fabio-oliveira.pdf](http://www.educacao.ufrj.br/ppge/dissertacoes/fabio-oliveira.pdf).

### I. MATERIAL PARA O PROFESSOR

#### OS RAIOS X E SUAS APLICAÇÕES

A intenção desse módulo é investigar os conhecimentos que os alunos trazem do seu dia a dia e suas opiniões sobre os usos e as aplicações dos raios X. Por ser descritivo e posteriormente tratar de aplicações, o módulo pode ser iniciado com uma discussão de questões relativas ao tema. Recursos metodológicos de imagem,

como vídeos sobre o assunto, podem ser encontrados em sites como o *youTube* ([www.youtube.com](http://www.youtube.com)). O professor pode fazer uma seleção prévia de vídeos sobre o assunto, a fim de ilustrar de forma mais significativa a discussão.

Após o estudo do módulo, os alunos, em grupos, podem desenvolver propostas inspiradas no enfoque CTS. Por exemplo: os grupos podem escolher uma das aplicações e analisar os riscos associados e os benefícios. Em seguida, eles podem elaborar uma maneira de informar de forma objetiva às pessoas os resultados das análises realizadas, explicando a importância dessa informação.

### Sugestão

As questões citadas no Material para o Aluno foram elaboradas para introduzi-lo no tema. Assim, o professor poderia iniciar a discussão tomando-as por base ou elaborando novas questões.

O professor pode inserir o vídeo, encontrado em [www.youtube.com/watch?v=PLL1G8hthH4&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=PLL1G8hthH4&feature=related) e acessado em 26/08/2012, sobre o uso dos raios X na radiologia industrial.

### A DESCOBERTA DOS RAIOS X

Não há necessidade da exploração de conhecimentos prévios por parte dos alunos, já que o módulo tem também como objetivo uma abordagem histórica. Talvez seja importante o professor caracterizar e enfatizar o contexto histórico em que se desenvolveu aquele conhecimento-teoria, fazendo um contraponto com a época atual.

Seria interessante o professor usar uma cópia de algum panfleto ou livro da época para que os alunos pudessem tomar co-

hecimento, inicialmente, da abordagem do tema. Como sugestão bibliográfica, é possível encontrar material no livro *Something about X rays for everybody*, de 1896, reeditado pela Medical Physics Publishing Corporation em 1988, que foi o primeiro livro sobre o assunto direcionado para o público em geral. A obra traz muitas ilustrações e descreve com muitos detalhes a experiência de Röntgen. Pode ser consultada *on-line* e está liberada para ser copiada totalmente ou em parte em [archive.org/stream/somethingaboutxr00trev#page/30/mode/2up](http://archive.org/stream/somethingaboutxr00trev#page/30/mode/2up) (Acesso em: 24 ago. 2012). Outro livro que tem uma abordagem nessa linha é *Descobertas Acidentais em Ciência*, de Royston M. Roberts, da editora Papyrus (1998), que também faz uma boa descrição da experiência. Não há versão *on-line* do livro, o qual pode ser adquirido nas livrarias tradicionais. Uma consulta aos artigos de Roberto Martins sobre os raios X é fundamental para a contextualização histórica da descoberta. Os comunicados de Röntgen foram traduzidos do alemão e analisados em detalhes pelo autor. Eles estão disponíveis em [www.ifi.unicamp.br/~ghc/ram-pub.htm](http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/ram-pub.htm) (Acesso em: 24 ago. 2012).

Recomenda-se que essas fontes sejam analisadas em conjunto com os alunos. Outra possibilidade seria a exibição de um vídeo sobre o tema; entretanto, há uma escassez muito grande de material sobre o assunto. Alguns sites como o *youTube* ([www.youtube.com](http://www.youtube.com)) podem ser consultados pelo professor no sentido de buscar algum material disponível, como, por exemplo, um vídeo sobre a parte histórica da descoberta dos raios X: [www.youtube.com/watch?v=Os\\_nGd1kmxw&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=Os_nGd1kmxw&feature=related) (Acesso em: 26 ago. 2012).

### Sugestão

Após a exibição do vídeo descrito anteriormente, o professor pode reunir a turma em grupos e propor que respondam as perguntas que estão no Material para o Aluno, com a leitura do texto sobre

a descoberta dos raios X a fim de que reavaliem suas respostas, apresentando suas análises para todos os grupos.

Outra atividade seria propor aos grupos que elaborassem uma apresentação da evolução cronológica das aplicações dos raios X até os dias atuais. Pode ser feito em cartazes ou no programa PowerPoint, caso haja computador disponível. O objetivo principal seria situar o desenvolvimento daquela tecnologia no contexto do desenvolvimento da Física e de outras ciências como a Química e a Biologia na mesma época.

## A FÍSICA DOS RAIOS X

A fim de não prejudicar a estruturação didática da proposta, seria importante o professor avaliar junto aos alunos alguns pré-requisitos necessários para o bom andamento do trabalho, principalmente no que se refere à produção dos raios X:

A - conhecer os modelos atômicos, particularmente o modelo de Bohr.

B - conhecer os fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, difração, interferência e polarização.

C - saber fazer a distinção entre campo elétrico e campo magnético.

D - saber correlacionar as unidades de energia, principalmente o elétron-volt (eV) e o joule (J).

E - conhecer o princípio da dualidade onda-partícula.

Para os modelos atômicos sugerimos as seguintes bibliografias:

- *Física para ciências biológicas e biomédicas*. Okuno, Caldas e Chow. O capítulo 4 trata exclusivamente dos modelos atômicos com ênfase no modelo de Bohr.
- *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Eisberg e Resnick. No capítulo 4 encontra-se a descrição dos postulados de Bohr e do modelo atômico.

Para os fenômenos ondulatórios, campo elétrico, campo magnético e relações de unidades, sugerimos as seguintes obras:

- *Física Clássica: Óptica e Ondas*. Calçada e Sampaio. Apesar de ser um livro para o ensino médio, o assunto está muito bem estruturado, com exemplos e aplicações.
- *Física Clássica: Eletricidade*. Calçada e Sampaio. Descreve basicamente o campo elétrico (capítulo 10) e posteriormente o campo magnético (capítulo 17).
- *Fundamentos da Física: Óptica e Física Moderna*. Halliday, Resnick e Walker. Faz uma abordagem mais aprofundada de todos os assuntos e possui, no início do livro, conversões de unidade.

Existem alguns sites com animações que podem ser úteis nesse momento, principalmente no que se refere aos modelos atômicos:

I. Esse site permite que o aluno altere número de elétrons, prótons e nêutrons, verificando qual é o elemento químico referente à estrutura disposta: [www.classzone.com/books/earth\\_science/terc/content/investigations/es0501/es0501page01.cfm?chapter\\_no=investigation](http://www.classzone.com/books/earth_science/terc/content/investigations/es0501/es0501page01.cfm?chapter_no=investigation). Acesso em: 26 ago. 2012.

II. Através da alteração de características da onda, como a amplitude e a frequência, o aluno pode perceber que

mudanças ocorrem na onda: [www.colorado.edu/physics/2000/quantumzone/schroedinger.html](http://www.colorado.edu/physics/2000/quantumzone/schroedinger.html) Acesso em: 26 ago. 2012.

III. No site da Universidade de São Paulo pode ser encontrado um material sobre a construção da teoria atômica, com a possibilidade de fazer o *download* do vídeo: [video.if.usp.br/video/constru%C3%A7%C3%A3o-da-teoria-at%C3%B4mica-de-%C3%A1tomos-s%C3%B3lidos](http://video.if.usp.br/video/constru%C3%A7%C3%A3o-da-teoria-at%C3%B4mica-de-%C3%A1tomos-s%C3%B3lidos). Acesso em: 26 ago. 2012.

IV. Através da simulação de um aparato consegue-se visualizar a produção dos raios X: [nanofast.ucdavis.edu/Rare-Part1/xray\\_sim.html](http://nanofast.ucdavis.edu/Rare-Part1/xray_sim.html). Acesso em: 26 ago. 2012.

Outra atividade interessante seria dividir a turma em grupos e solicitar que cada grupo realize uma pesquisa sobre um dos modelos atômicos. Assim, todos apresentariam os modelos em ordem cronológica, indicando os caminhos da construção daquele conhecimento. Dessa forma, o processo evolutivo da teoria atômica poderia ser estudado e, na conclusão dos trabalhos, o modelo de Bohr seria discutido com mais detalhes, destacando-se sua importância no contexto da produção dos raios X. O professor poderá utilizar os recursos sugeridos acima para enriquecer o assunto e auxiliar os alunos na elaboração da pesquisa.

### Sugestão

A turma pode se reunir em grupos para responder as perguntas que estão no Material para o Aluno. Em seguida, a partir do acesso aos sites propostos acima, os grupos reunidos podem avaliar suas respostas e apresentar os resultados aos outros colegas da turma na forma de seminário.

## II - MATERIAL PARA O ALUNO

### OS RAIOS X E SUAS APLICAÇÕES

Após a apresentação feita por seu professor do vídeo [www.youtube.com/watch?v=PLL1G8hthH4&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=PLL1G8hthH4&feature=related), discuta sobre o assunto com seus colegas de grupo e responda as seguintes questões:

- I. Sabemos que os raios X são empregados em um grande número de aplicações na Medicina e na Odontologia. Procure relacionar quais as aplicações que você conhece.
- II. De que forma essas aplicações nos ajudam a viver melhor?
- III. Você acha que só existem aplicações na Medicina para os raios X? Caso conheça outras, procure relacioná-las.
- IV. Como essas aplicações que nos ajudam podem ao mesmo tempo nos prejudicar?
- V. Em relação ao meio ambiente, ele também pode sofrer consequências? De que maneira?

Leia os textos abaixo e analise com seu grupo as respostas elaboradas antes da leitura. Discuta o resultado com os outros grupos e com o professor.

#### Aplicações na Medicina

As aplicações das radiações na Medicina ocorrem em um campo genericamente chamado de Radiologia, a qual é dividida em Radioterapia, Radiologia Diagnóstica e Medicina Nuclear.

Existem doses máximas permitidas para todas as partes do corpo, para as gônadas e alguns órgãos críticos como tireoide, pele, útero etc. Em geral, as doses utilizadas em diagnose são pequenas; entretanto, deve-se evitar o uso indiscriminado das radiações, pois seu efeito é cumulativo. Crianças e mulheres grávidas devem ter uma atenção especial porque células em desenvolvimento são mais sensíveis aos efeitos das radiações.

### Aplicações na Indústria

Os raios X têm uma vasta aplicação na indústria, principalmente na metalúrgica. São usados normalmente para caracterizar e aprimorar processos físico-químicos. Um exemplo é a produção de novas chapas de aço (liga metálica composto de Fe e um percentual da ordem de até 2% de C), nas quais é preciso que a quantidade de carbono seja bem definida.

Na indústria automobilística, o uso dos raios X permite a visualização do interior dos motores dos automóveis e a eventual presença de fragmentos de aço, de outras ligas ou de metais. Esses elementos estranhos podem causar danos ao funcionamento dos motores e, após sua montagem, um espectro de absorção dos raios X do motor é obtido no sentido de verificar a existência ou não de fragmentos.

### Aplicações na Agricultura – Melhoramento de plantas

É possível provocar a modificação do DNA de plantas por meio do uso dos raios X e, assim, aumentar a variabilidade genética dessas plantas. Com uma variedade maior pode-se selecionar as melhores, de acordo com características como: altura, ciclo, resistência a pragas, doenças, estresses ambientais etc.

As plantas modificadas são chamadas de mutantes e os agentes que provocam as mudanças são chamados de mutagênicos (ra-

diações). Assim, através da indução de mutação são produzidos espécimes com menor altura (que acarretam menores perdas pela ação dos ventos), resistência a doenças e tolerância ao alumínio (fator importante em certos tipos de solos).

### Tomografia de solos

Outra aplicação de tecnologia nuclear na agricultura tem relação direta com a técnica de tomografia de solos, onde é usada radiação X ou gama. O tomógrafo usado é semelhante ao usado em Medicina, mas de custo mais baixo. A radiação passa pela amostra (objeto) e é atenuada em função do número atômico ( $Z$ ) e da densidade do material ( $d$ ). O aparelho, através de um *software* específico, distingue as diferentes densidades para formar a imagem do que está sendo analisado. As regiões mais densas são representadas pelas áreas mais escuras na imagem tomográfica. O estudo posterior da imagem vai auxiliar na determinação de propriedades físicas do solo.

### Irradiação de alimentos

É um processo físico de tratamento comparável à pasteurização térmica<sup>19</sup>, congelamento ou enlatamento. Envolve a exposição do alimento, embalado ou não, a um dos três tipos de energia ionizante: raios gama, raios X ou feixe de elétrons.

O processamento de alimentos envolve hoje uma tecnologia avançada para assegurar a conservação e as boas condições sanitárias dos alimentos consumidos pela população em geral.

<sup>19</sup> Tratamento usado para eliminar agentes patológicos e/ou reduzir a população de microrganismos presentes em alimentos como suco de frutas e leite. É associado ao emprego de outros métodos como refrigeração, adição de açúcar e/ou aditivos e embalagens herméticas.

O processo é basicamente a interação da radiação com a matéria. Ao penetrar no alimento, a radiação elimina bactérias patogênicas<sup>20</sup>, destruindo fungos, parasitas e insetos, porque são formados compostos químicos tóxicos a esses elementos nocivos.

Em razão disso, o alimento após ser irradiado passa por um controle de qualidade de toxidade para verificar se pode ser consumido sem problemas para nosso organismo.

## A DESCOBERTA DOS RAIOS X

Após a exibição do vídeo [www.youtube.com/watch?v=Os\\_nGd1kmxw&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=Os_nGd1kmxw&feature=related) pelo seu professor, discuta em grupo com seus colegas sobre o assunto e responda as seguintes questões:

- I. O contexto histórico e social tem influência sobre uma teoria científica?
- II. Quais as consequências sociais e tecnológicas do uso indiscriminado de uma nova teoria científica?
- III. Em que medida a comunidade científica é responsável pelos problemas causados por uma novidade científica à sociedade? Justifique.
- IV. Em sua opinião, o cidadão comum pode ser responsabilizado pelos problemas gerados pelos raios X?
- V. Você acha que os cientistas são pessoas diferentes das outras pessoas?

<sup>20</sup> São bactérias que no seu metabolismo produzem substâncias tóxicas ao hospedeiro. São responsáveis por doenças como o botulismo, a pneumonia, a tuberculose, a sífilis e a gonorreia.

Leia o texto abaixo e, em grupo, reavalie suas respostas depois da leitura.

### A experiência de Röntgen

No final do século XIX, em meados de dezembro de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, após semanas de pesquisa experimental em seu laboratório, desenvolveu uma teoria científica sobre os raios X (também chamados de raios de Röntgen). O nome raio foi dado pelo fato de se propagarem em linha reta como a luz e X pelo fato de sua natureza não ser conhecida, isto é, não possuir características semelhantes à luz e a outras radiações<sup>21</sup> já existentes e conhecidas como os raios catódicos<sup>22</sup> e os raios ultravioleta<sup>23</sup>. Röntgen, inicialmente, estava interessado em estudar os raios catódicos incentivado pelos trabalhos de Hertz<sup>24</sup> e Lenard<sup>25</sup>. Röntgen usou um tubo de vidro com ar rarefeito chamado tubo de Crookes (Figura 1), semelhante aos usados por Hertz e Lenard, só que dessa vez coberto por uma proteção (blindagem) de papelão preto. O local era uma sala escura e na mesa onde o tubo estava tinha um pedaço de papel com um material bastante fluorescente (platino-cianeto de bário). Quando o tubo foi ligado, ele percebeu que o material, que estava próximo ao tubo, havia ficado fluorescente. Afastando a folha, verificou que a fluorescência continuava e até distâncias de aproximadamente dois metros permanecia a mesma. Nesse momento ele verificou que a fluorescência ocorria em razão de algum novo tipo de raio invisível que, além de atravessar o tubo blindado, percorria distâncias muito grandes comparadas com as experiências anteriores com outros tipos de raios.

<sup>21</sup> Consideraremos radiações como ondas eletromagnéticas, cuja definição será feita mais adiante.

<sup>22</sup> Fluxo de elétrons em razão de descargas em tubos de vidro contendo ar rarefeito.

<sup>23</sup> Tipo de radiação pertencente ao espectro eletromagnético que compõe, em conjunto com a radiação infravermelha e a luz visível, a chamada região óptica do espectro.

<sup>24</sup> Em 1892, Heinrich Hertz foi o primeiro a descrever que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal ao analisá-los em tubos de descarga elétrica.

<sup>25</sup> Aluno de Hertz, aperfeiçoou seus experimentos com raios catódicos, permitindo estudá-los no ar e em outros gases.

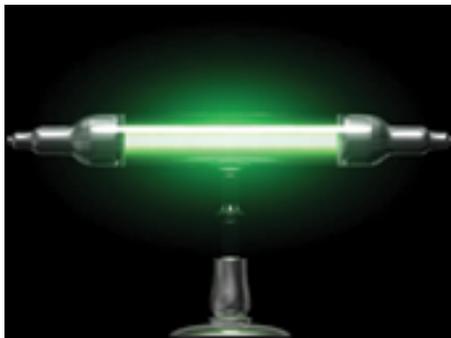


Figura 1: Tubo de Crookes.

(Disponível em: [www.google.com.br/search?q=tubo+de+crookes&hl=pt-BR&prmd=i mvnbs&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=ybs3U0a8L5Ss8QSAiYCwDw&sqi=2&ved=0CC4QsAQ&biw=1920&bih=958](http://www.google.com.br/search?q=tubo+de+crookes&hl=pt-BR&prmd=i mvnbs&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=ybs3U0a8L5Ss8QSAiYCwDw&sqi=2&ved=0CC4QsAQ&biw=1920&bih=958) Acesso em: 24 ago. 2012.)

Nos dias que se seguiram, Röntgen verificou experimentalmente, por comparações com as propriedades das radiações já conhecidas (luz, raios ultravioleta, raios catódicos etc.), as propriedades dos novos raios. Observou que eles se propagavam em linha reta, produzindo sombras regulares assim como a luz. Eram capazes de penetrar grandes espessuras, principalmente de materiais menos densos, o que os tornava muito mais penetrantes do que os raios catódicos. Entretanto, ao contrário dos raios catódicos, não podiam ser desviados por ímãs. Foram observados vários aspectos em relação à nova radiação. Primeiro, os metais os absorviam mais fortemente, especialmente o chumbo. Em segundo lugar, produziam fluorescência em diversas substâncias, sensibilizavam chapas fotográficas de maneira análoga a outras radiações conhecidas e não podiam ser refletidos, nem refratados, diferenciando-os da luz e da radiação ultravioleta. Além disso, Röntgen não conseguiu detectar fenômenos típicos da luz, como interferência<sup>26</sup> e polarização<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Fenômeno no qual duas ou mais ondas atingem simultaneamente um dado ponto de um meio no qual se propagam e esse ponto sofre um efeito resultante da influência dos efeitos que cada onda produziria individualmente nele.

<sup>27</sup> Fenômeno exclusivo das ondas transversais, onde vários planos de vibração de uma onda transversal são orientados a vibrar em um único plano.

### Aplicações imediatas e uso indiscriminado

Após o anúncio de Röntgen sobre a nova descoberta, várias pesquisas começaram a ser desenvolvidas em diversas partes do mundo. O impacto social causado pela divulgação da descoberta fez com que apenas no ano de 1896 fossem publicados cerca de 50 livros e panfletos e mais de 1.000 artigos, incluindo-se nesse total os artigos médicos.

A Medicina foi a primeira das ciências a se beneficiar diretamente com o uso dos raios X. Radiografias de mãos, pés, objetos e animais pequenos se popularizaram em todo o mundo. Em Paris, 1896, uma radiografia (esse nome não era usado inicialmente) permitiu distinguir um problema de destruição óssea (osteomielite) na mão de um indivíduo. Assim, em algumas semanas, vários outros procedimentos, como extração cirúrgica de projéteis e fragmentos de vidro e de agulhas, foram possíveis graças aos raios X. Somente no primeiro semestre de 1896 mais de 100 trabalhos sobre aplicações médicas dos raios X foram publicados.

### A FÍSICA DOS RAIOS X

Junte-se a seus colegas de grupo e responda as seguintes perguntas:

- I. Os raios X estão presentes naturalmente no nosso dia a dia?
- II. Como eles são produzidos?
- III. Por que não conseguimos vê-los?
- IV. Qual a diferença entre os raios X e a luz visível?
- V. Os aparelhos de televisão emitem raios X?

Leia o texto a seguir com seu grupo e rediscuta as questões anteriores com os outros grupos e o professor. Elabore com seu grupo uma atividade para solucionar os questionamentos propostos.

### Dualidade onda – partícula

Toda radiação eletromagnética pode ser descrita como tendo, ao mesmo tempo, um caráter ondulatório e um caráter corpuscular. Para podermos fazer uma distinção entre esses dois comportamentos é preciso estar atento para esses aspectos.

Por exemplo, a radiação corpuscular é constituída de um feixe de partículas elementares ou componentes dos núcleos atômicos: elétrons, prótons, partículas alfa etc. Sua energia cinética ( $E$  ou  $K$ ) depende da massa da partícula e de sua velocidade ( $v$ ), onde  $v$  é muito menor que a velocidade da luz ( $c$ ).

$$K = mv^2 \quad (1)$$

Já a radiação eletromagnética é constituída por um campo elétrico e um campo magnético oscilantes que se propagam com a velocidade da luz ( $c$ ). São as ondas de rádio, micro-ondas, raios X etc. São caracterizadas geralmente por seu comprimento de onda e por sua frequência.

$$v = \lambda f \quad (2)$$

Para o caso particular de uma onda eletromagnética, podemos descrever a relação com sendo:

$$v = c = \lambda f = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (3)$$

Max Planck (1901)<sup>28</sup> e Albert Einstein (1905)<sup>29</sup> iniciaram a formulação da teoria dos quanta. De acordo com essa teoria, Planck mostrou que a radiação eletromagnética se propaga descontinuamente em pequenos pulsos de energia chamados de pacotes de energia, quanta ou fótons.

Einstein verificou que a prevalência do caráter ondulatório ou corpuscular depende do fenômeno a ser observado ou do equipamento usado para a detecção. Alguns experimentos só podem se explicados se considerarmos a radiação eletromagnética como onda, outros só como fótons.

Fótons são partículas sem carga e sem massa de repouso. São associados a uma frequência particular  $f$  de luz e possuem uma energia  $E$  diretamente proporcional à  $f$ .

$$E = hf, \text{ onde } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \quad (4)$$

Na expressão,  $h$  é uma constante universal, chamada de constante de Planck. A energia  $E$  também pode ser calculada em função de  $\lambda$ . Basta reunirmos (3) e (4):

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

A luz apresenta fenômenos de interferência, difração e polarização, os quais são característicos de ondas, mas também o efeito fotoelétrico que é típico de partículas, em que um fóton libera um elétron de um metal. Assim, dizemos que a onda tem um caráter dual, e ambas as teorias se complementam.

<sup>28</sup> Mostrou experimental e matematicamente que a energia da radiação era quantizada, isto é, tinha valores discretos e não possuía, como previa a mecânica clássica, valores contínuos. Os estudos de Planck constituem o marco inicial da Mecânica Quântica.

<sup>29</sup> Baseado nos trabalhos de Planck, aprofundou o estudo das propriedades corpusculares de uma onda através do Efeito Fotoelétrico e introduziu o conceito de fóton. Einstein ganhou o prêmio Nobel de Física de 1918 com esse estudo.

A energia de fóton das ondas eletromagnéticas com frequência menor do que 300 GHz é extremamente pequena, sendo difícil detectá-las como fótons. Assim, prevalece nesse caso o caráter ondulatório.

Aproximadamente 20 anos após a descoberta por Einstein das propriedades corpusculares da onda, através do efeito fotoelétrico, Louis de Broglie apresentou uma interpretação que considerava que a matéria tinha tanto características ondulatórias como corpusculares. Assim, matematicamente podemos escrever:

$$mv = \frac{h}{\lambda}$$

onde  $\lambda$  é chamado de comprimento de onda de de Broglie.

O caráter corpuscular da matéria é representado pelo produto  $mv$ , pois  $m$  e  $v$  são respectivamente massa e velocidade do corpúsculo, enquanto  $\lambda$  representa o caráter ondulatório, pois  $\lambda$  é o comprimento de onda associado ao corpúsculo.

#### Como os raios X são produzidos?

Com os postulados de Bohr e o estudo de seu modelo atômico podemos compreender os dois processos de produção dos raios X.

Ambos os processos ocorrem em um equipamento chamado tubo de raios X (Figura 2), onde o tubo de Crookes visto no capítulo inicial representa uma de suas versões.

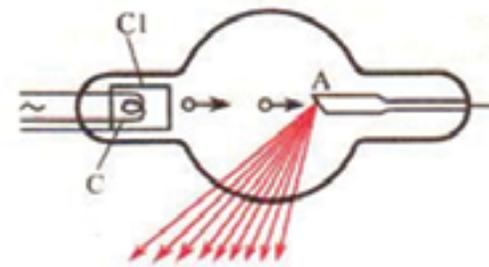


Figura 2: Tubo de raios X.

(Disponível em: [www.google.com.br/search?q=tubo+de+crookes&hl=pt-BR&prmd=imvnsb&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=ybs3U0a8L5Ss8QSAiYCwDw&sqi=2&ved=0CC4QsAQ&biw=1920&bih=958](http://www.google.com.br/search?q=tubo+de+crookes&hl=pt-BR&prmd=imvnsb&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=ybs3U0a8L5Ss8QSAiYCwDw&sqi=2&ved=0CC4QsAQ&biw=1920&bih=958). Acesso em: 24 ago. 2012)

Basicamente, nesse tubo existe um elemento chamado ânodo (alvo) que é constituído de um metal. Do lado oposto fica outro elemento chamado catodo que, quando aquecido, emite elétrons. Esses elétrons são submetidos a uma diferença de potencial e formam um feixe eletrônico colimado com energias cinéticas da ordem de  $10^4$  eV.

No primeiro processo de produção dos raios X, após colidirem com o ânodo e atravessarem seus átomos, os elétrons do feixe podem eventualmente passar próximos aos elétrons de subcamadas internas. Graças à interação coulombiana entre um elétron energético do feixe e um elétron atômico, aquele pode ceder energia suficiente a este para retirá-lo de seu nível de energia muito negativo e ejetá-lo do átomo. Isso deixa o átomo em estado excitado, porque um de seus elétrons de energia muito negativa foi removido. O átomo volta a seu estado de energia fundamental emitindo um conjunto de fótons de alta energia e, portanto, de alta frequência, que constitui o *espectro de raios X* (Figura 3). Esse espectro de raios X produzido nesse tipo de interação é chamado de *espectro discreto* ou *espectro de linhas* e é característico dos átomos do ânodo.

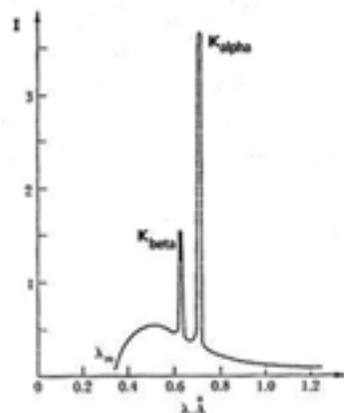


Figura 3: Espectro característico para um alvo (ânodo) de molibdênio ( $Z = 42$ ).

(Disponível em: [www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m\\_s01.html](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/m_s01.html). Acesso em: 24 ago. 2012)

Um aspecto inesperado dos espectros discretos de raios X é que as frequências e comprimentos de onda das linhas variam lentamente de acordo com o material utilizado na confecção do ânodo. Não há variações bruscas semelhantes nas que são observadas nos espectros atômicos na faixa de frequências óticas. A razão é que as características dos espectros de raios X dependem das energias de ligação dos elétrons das camadas internas. Essas energias de ligação aumentam uniformemente com valores crescentes de número atômico ( $Z$ ), por causa da carga nuclear, e não são afetadas pelas variações periódicas de número de elétrons das camadas externas do átomo que afetam os espectros óticos.

A regularidade dos espectros de raios X foi pela primeira vez observada por Moseley. Seus estudos baseados no modelo de Bohr foram um passo importante para o desenvolvimento da Física Quântica, ajudando na formulação de uma expressão matemática para a determinação do número atômico dos elementos químicos e sua correlação com a carga nuclear do átomo e sua posição na tabela periódica.

Apesar de não ser nosso objeto de estudo, pode haver uma interação de um elétron do feixe com um elétron atômico de uma camada mais externa, produzindo estados excitados de baixa energia e dando origem a um *espectro óptico*.

O segundo processo é o espalhamento coulombiano desses elétrons quando se aproximam bastante dos núcleos dos átomos do ânodo. Em uma única colisão desse tipo, um elétron incidente sofre grandes acelerações e pode ter um ângulo de desvio. Embora ele não transfira energia para o núcleo, pois este tem uma massa muito grande comparada com a do elétron para ter um recuo apreciável, algumas vezes esse elétron perde energia na forma de radiação eletromagnética. Essa emissão de radiação eletromagnética é prevista pela Física Clássica em razão da desaceleração dos elétrons freados pelo núcleo do alvo e resulta em um *espectro contínuo de raios X* (Figura 4).

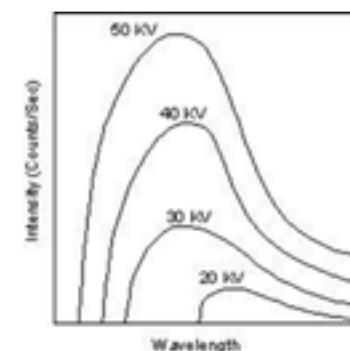


Figura 4: Espectro contínuo dos raios X em função do potencial acelerador.

(Disponível em: [www.tulane.edu/~sanelson/eens211/x-ray.htm](http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/x-ray.htm). Acesso em: 24 ago. 2012)

A característica mais notável dessas curvas é que, para uma dada energia dos elétrons, há um mínimo bem definido  $\lambda_{\min}$  para os comprimentos de onda. Por exemplo, para elétrons de 40 keV de energia, o  $\lambda_{\min}$  é de  $0,311 \text{ \AA}^{30}$ . Embora a forma do espectro contínuo de raios X dependa do potencial  $V$  e um pouco do material

<sup>30</sup>  $\text{\AA}$  é o símbolo de angström que corresponde a  $10^{-10} \text{ m}$ .

do alvo, o valor de  $\lambda_{\min}$  depende apenas de  $V$ , sendo o mesmo para todos os materiais. A teoria eletromagnética clássica não pode explicar esse fato, não havendo nenhuma razão para que ondas de comprimento menor que certo valor crítico não devam ser emitidas pelo alvo.

No entanto, uma explicação surge imediatamente, quando encaramos os raios X como fótons. Um elétron de energia cinética inicial  $K$  é desacelerado pela interação com o núcleo pesado do alvo, e a energia que ele perde aparece na forma de radiação como um fóton de raios X. O elétron interage com o núcleo carregado através do campo coulombiano, transferindo momento para o núcleo. A desaceleração resultante causa a emissão do fóton. A massa do núcleo é tão grande que a energia que ele adquire durante a colisão pode ser completamente desprezada. Se  $K'$  é a energia cinética do elétron após a colisão, então a energia do fóton é

$$h\nu = K - K'$$

e o comprimento de onda do fóton é dado por

$$\frac{hc}{\lambda} = K - K'$$

Os elétrons no feixe incidente podem perder diferentes quantidades de energia nessas colisões e, em geral, um elétron chegará ao repouso apenas depois de várias colisões. Os raios X assim produzidos pelos elétrons constituem o espectro contínuo, e há fótons com comprimentos de onda que vão desde  $\lambda_{\min}$  até  $\lambda \rightarrow \infty$ , correspondentes às diferentes perdas em cada colisão. O fóton de menor comprimento de onda seria emitido quando um elétron perdesse toda a sua energia cinética em um processo de colisão; nesse caso,  $K' = 0$ , de forma que  $K = hc/\lambda_{\min}$ . Como  $K$  é igual à  $eV$ , a energia adquirida pelo elétron ao ser acelerado pela diferença de potencial  $V$  aplicada ao tubo de raio X, temos

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

ou

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV}$$

Portanto, o limite mínimo dos comprimentos de onda representa a conversão completa da energia dos elétrons em radiação X. A equação  $\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV}$  mostra claramente que se  $h \rightarrow 0$ , então  $\lambda_{\min} \rightarrow 0$ , que é previsão da teoria clássica.

A radiação X contínua é frequentemente chamada *bremsstrahlung*, do alemão *brems* (frenagem, desaceleração) + *strahlung* (radiação). O processo de *bremsstrahlung* ocorre não apenas em tubos de raios X, mas sempre que elétrons rápidos colidem com a matéria, como os raios cósmicos, nos anéis de radiação van Allen que envolvem a Terra, ou na frenagem de elétrons emergentes de aceleradores ou núcleos radioativos. O processo de *bremsstrahlung* pode ser considerado como um efeito fotoelétrico às avessas: no efeito fotoelétrico, um fóton é absorvido, sua energia e momento indo para um elétron e para um núcleo. No processo de *bremsstrahlung*, um fóton é criado, com sua energia e momento vindos de uma colisão entre um elétron e um núcleo. Nesse processo há criação de fótons em vez de sua absorção ou espalhamento pela matéria.

**Autor:** Fabio Ferreira de Oliveira

Este trabalho é parte da dissertação de mestrado defendida em 8 de maio de 2006, na Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ ([www.educacao.ufrj.br/ppge/dissertacoes/fabiooliveira.pdf](http://www.educacao.ufrj.br/ppge/dissertacoes/fabiooliveira.pdf)).

Atualmente o autor leciona como professor titular de Física nas seguintes escolas: Colégio Estadual Compositor Luiz Gonzaga, Escola Técnica Estadual Visconde de Mauá – FAETEC e Colégio pH Ltda. – Grupo Abril Educação.

## Deise Miranda Vianna

Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1973), mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1982) e doutorado em Educação pela Universidade de São Paulo (1998). Fez estágio de Pós-Doutorado na Universidade Santiago de Compostela - Espanha (2002). Atualmente é professora Associada da Universidade Federal do Rio de Janeiro, professora do programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da UFRJ, professora colaboradora do programa de Pós-Graduação em ensino de Biociências e Saúde da Fundação Oswaldo Cruz. Foi Secretária de Ensino da Sociedade Brasileira de Física (2003-2007) e membro do Conselho (2007-2009), membro da Comissão de Pesquisa em Ensino de Física (2010- ). Presidiu o Centro de Ciências do Estado do Rio de Janeiro (1995-1998). Foi Presidenta do Conselho das Conferências Interamericanas de Ensino de Física (2006-2009), continuando como Membro representante. Coordenadora do Grupo PROENFIS.

