



Marcelo Vitor Ferreira Machado

Conservações e transformações energéticas

Orientador: Lígia de Farias Moreira

Banca:

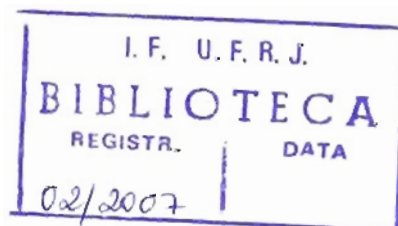
Presidente: Lígia de Farias Moreira

Artur Braun Chaves

Miguel Angel Gregório

Marcos Binderly Gaspar

Dezembro 2007.



Agradecimentos:

Primeiramente, agradeço àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse ter concluído um curso de nível superior, dando-me tudo o que foi necessário, estes são: minha mãe, Maria Lucia da Silva Ferreira, meu pai, Marco Aníbal Calado Machado e meu irmão Marco Vinícius Ferreira Machado. Por conseguinte, àquela pessoa que se mostra sempre ao meu lado, compreendeu minha ausência em algumas situações e que procura revitalizar-me momentos difíceis, esta é, minha namorada e companheira, Daniela Figueiredo Guerreiro.

Resumo:

Nesta atividade, procuramos trabalhar as transformações de energia de uma forma não tradicional, onde o aluno tem a possibilidade de externar suas idéias prévias e de visualizar a aplicabilidade da Física no seu cotidiano, através da inserção sócio-cultural dos tópicos apresentados. Para tanto, este trabalho conta com realização de experimentos, questionários com perspectivas de interação com a realidade de vida dos alunos, como também, de formalização de conteúdos, afim de que o aluno possa compreender mais e melhor sobre o fazer científico. Além disso, textos que tratam de problemas atuais, como as fontes energéticas e o ineficiente aproveitamento da energia no Brasil também são apresentados em um dos tópicos sobre transformações de energia, já que com isso, o estudante tem plenas condições de desenvolver uma capacidade crítica, assim como, autonomia de raciocínio.

Aos alunos que estão em fase de conclusão do ensino médio (3º ano), destina-se este trabalho, haja vista que já viram ou estão terminando por ver, alguns conteúdos que são necessários a um bom entendimento das atividades propostas.

A realização desse método não tradicional de ensino nos fez constar o surgimento de um maior interesse por parte dos alunos, em saber como e por que a natureza apresenta determinados fenômenos, além de capacidades reflexivas e investigativas também terem sido notadas.

Sumário:

1 Introdução.....	1
2 Metodologia e Experimentos.....	4
2.1 Referencial Teórico.....	4
2.2 Metodologia Aplicada.....	6
2.3 Materiais Experimentos.....	7
3 Histórico.....	14
4 Energia e suas Transformações.....	19
4.1 Transformação de energia cinética em energia potencial.....	19
4.2 Transformação de energia mecânica em energia elétrica.....	24
4.3 Transformação de calor em energia mecânica.....	32
4.4 Transformação de energia química em elétrica.....	38
4.5 Transformação de energia eólica em energia mecânica.....	42
4.6 Transformação da energia solar.....	46
4.7 Transformação da energia nuclear.....	54
5 Atividade Proposta.....	60
6 Conclusão.....	61
Bibliografia.....	62

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Escolhemos a conservação de energia e suas transformações como tema de nosso trabalho, pois, na maioria das vezes, é um tópico tratado com grande abstração no Ensino Médio, embora esteja inteiramente relacionado com o cotidiano dos alunos, além disso é encarado com relativa dificuldade por parte dos mesmos. Haja vista que os alunos costumam confundir energia com outros conceitos físicos, tais como, força e aceleração. A utilidade prática, ou seja, a possibilidade dos alunos usarem seus aprendizados, dentro do seu dia-dia foi um fator que também contribuiu muito para a escolha deste tema. Nesse contexto, podemos trabalhar com certo aprofundamento a questão da “produção” e do uso de diferentes formas de energia dentro de nossa sociedade.

O presente trabalho destina-se a alunos que estejam em fase de conclusão do Ensino Médio (3º ano), já que, normalmente, estes alunos viram ou estão terminando de ver, todo o conteúdo básico necessário a uma boa compreensão das atividades a serem desenvolvidas, como também da Física inerente em cada uma delas.

Como primeira finalidade deste trabalho, temos a possibilidade de dar aos alunos um entendimento mais amplo e significativo sobre o tema, e assim, fornecer-lhes uma compreensão dos recursos e fontes de energia do mundo contemporâneo, bem como alguns dos diversos processos de aproveitamento e utilização de energia existentes na atualidade. Buscamos também, oferecer-lhes a oportunidade de conhecerem mais sobre a natureza da ciência e de como se constituem tecnologias associadas às transformações energéticas, fugindo de uma abordagem mais tradicional, onde a Física se apresenta como definitiva, dogmática e desprovida de significado real para os estudantes.

Um dos objetivos do ensino de Física, e que também pretendemos alcançar aqui, é possibilitar ao aluno um desenvolvimento enquanto cidadão, a fim de que ele possa ser inserido, por completo, dentro da sociedade em que vive atualmente (PCN, 1999), ou seja, o ensino de Física deve ser capaz de fazer o aluno entender e participar de forma atuante do mundo em que vive.

Não foram esquecidas as chamadas capacidades cognitivas superiores, tais como, a reflexão e análise crítica sobre uma determinada situação-problema, as quais dão a possibilidade do aluno argumentar sustentavelmente e posicionar-se criticamente, a partir

de juízos próprios, em relação a temas de ciência e tecnologia (PCN, 1999), isto é, competências necessárias para uma análise dos problemas relacionados aos recursos e fontes de energia no mundo contemporâneo, desde o consumo doméstico ao quadro de produção e utilização nacional, avaliando necessidades e impactos ambientais, tal como está prescrito nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+, 2002).

Para tanto, será desenvolvida uma atividade extra-classe (seminário) que contará com experimentações sobre alguns processos de transformação de energia, textos relacionados a utilização de determinadas formas de energia e questionamentos associados a cada uma dos processos de aproveitamento energético, afim de que possamos tomar conhecimento das concepções prévias dos alunos e a partir disso, formalizar e ampliar, de maneira mais significativa e concreta, seus conhecimentos. Ou seja, o trabalho pretende apoiar-se em idéias e formas de compreensão que o aluno já traz consigo, para construir e desenvolver de maneira gradativa todas as competências e habilidades descritas anteriormente.

A eficácia de métodos não tradicionais no ensino de física, tal como o que pretendemos desenvolver, quanto a se conseguir os objetivos apresentados acima, pode ser comprovada, por exemplo, em um artigo de Borges [Borges, 2005] onde se chega a seguinte conclusão:

“Uma das formas de se obter um ensino mais significativo, contextualizado e atualizado, é através da imersão dos estudantes em ambientes que propiciem atividades investigativas e que exigem uma atitude mais participativa e reflexiva. Para que haja uma compreensão satisfatória da atividade, do objeto sob estudo e chegar a conclusões válidas sobre ela, os estudantes precisam desenvolver uma boa compreensão do que seja um experimento. ”

Pode-se dizer também que as características dentro das quais, o trabalho será conduzido, estão de acordo com uma pesquisa publicada por Coelho: “ O que leva o aluno

a gostar ou não da aula de Física?”, mostra que duas das maiores médias de aceitação da aula de Física, bem como da boa compreensão dos conteúdos, se dão quando o professor utiliza outros recursos na sala de aula e quando ele faz uso contínuo da exemplificação. É claro que esta última estando inserida na realidade dos alunos. [Coelho, 2001].

A filosofia do nosso trabalho ainda encontra alicerces nos PCNs, onde se diz que a experimentação é indispensável ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir em diferentes formas e níveis, e assim pode-se garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, o que evita a aquisição de conhecimento como uma verdade estabelecida e inquestionável.

O experimental, dentro dos PCNs, vai além das situações convencionais de laboratório, ou seja, significa também observar situações e fenômenos dentro do alcance dos alunos, em casa, na rua ou na escola, desmontar objetos tecnológicos, construir aparelhos e outros objetos simples. [PCN, 1999].

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA E EXPERIMENTOS

2. 1 REFERENCIAL TEÓRICO

O método utilizado para o desenvolvimento desta atividade, consiste em determinar as concepções dos alunos sobre processos de transformação de energia através de práticas interativas, tais como, realizações de experimentos, leitura de textos informativos e perguntas relacionadas, tanto ao meio sócio-cultural dos estudantes como ao aprofundamento de conteúdo, afim de que possamos alcançar os demais objetivos educacionais descritos anteriormente.

Para tanto, a atividade baseia-se em idéias de David Ausubel (aprendizagem significativa) e Lev S. Vygotsky (interações sócio-culturais). Faremos então a seguir, um breve comentário sobre o que, basicamente, defende cada um destes dois importantes autores.

Segundo D. Ausubel, aprendizagem significativa é um processo de interação entre elementos presentes na estrutura cognitiva prévia do aluno e o material ou conteúdo de aprendizagem. Essa interação nada mais é do que um processo de modificação mútua tanto da estrutura cognitiva inicial como daquilo que é preciso aprender, isto é, a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de “subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende.

O “subsunçor” é um conceito, símbolo, imagem ou idéia já existente na estrutura cognitiva, servindo então como ancoradouro para uma nova informação a ser adquirida, atribuindo a essa nova informação um determinado significado.

Assim sendo, as novas idéias, conceitos e/ou proposições são aprendidas significativamente, à medida que outras idéias, conceitos ou proposições relevantes, sejam adequadamente claras e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo, fazendo com que funcionem como ponto de ancoragem às primeiras.

Em suma, a aprendizagem significativa caracteriza-se por uma interação entre aspectos relevantes das estruturas cognitivas e as novas informações através das quais, estas adquirem significado e são integradas a estrutura cognitiva de maneira não arbitrária e

não literal (não formal), contribuindo para a diferenciação, elaboração, estabilidade dos subsunçores pré-existentes e, conseqüentemente, da estrutura cognitiva. [Ausubel, 2005]

Já Lev S. Vygotsky tem como questão central a aquisição de conhecimentos pela interação do sujeito com o meio social em que vive e com o qual mantém relações.

As idéias de Vygotsky sobre o processo de formação de conceitos remetem às relações entre pensamento e linguagem, à questão cultural no processo de construção de significados pelos indivíduos, ao processo de internalização e ao papel da escola na transmissão de conhecimento, que é de natureza diferente daqueles aprendidos na vida cotidiana. Ele sugere uma visão de formação das funções psíquicas superiores como internalização mediada pela cultura.

As concepções de Vygotsky sobre o funcionamento do cérebro humano, colocam que o cérebro é a base biológica, e suas peculiaridades definem limites e possibilidades para o desenvolvimento humano. Estas concepções fundamentam sua idéia de que as funções psicológicas superiores referem-se a processos voluntários, ações conscientes, mecanismos intencionais e dependem basicamente, de processos de aprendizagem.

A idéia de mediação é central para a compreensão das concepções de Vygotsky sobre o desenvolvimento humano como processo sócio-histórico. Enquanto sujeito do conhecimento o homem não tem acesso direto aos objetos, mas acesso mediado, através de recortes do real, operados pelos sistemas simbólicos de que dispõe, portanto enfatiza a construção de conhecimento como uma interação mediada por várias relações, ou seja, o conhecimento não está sendo visto como uma ação do sujeito sobre a realidade, assim como no construtivismo e sim, pela mediação feita por outros sujeitos. O outro social, pode apresentar-se por meio de objetos, da organização do ambiente, do mundo cultural que envolve o próprio indivíduo.

A linguagem, sistema simbólico dos grupos humanos, representa um salto qualitativo na evolução da espécie. É ela que fornece os conceitos, as formas de organização do real, a mediação entre o sujeito e o objeto do conhecimento. É por meio dela que as funções mentais superiores são socialmente formadas e culturalmente transmitidas, portanto sociedades e culturas diferentes produzem estruturas diferenciadas.

A cultura fornece ao indivíduo os sistemas simbólicos de representação da realidade, ou seja, o universo de significações que permite construir a interpretação do mundo real. Ela dá o local de negociações no qual, seus membros estão em constante processo de recriação e re-interpretação de informações.

O processo de internalização é fundamental para o desenvolvimento do funcionamento psicológico humano. Ela envolve uma atividade externa que deve ser modificada para tornar-se uma atividade interna, é inter-pessoal e se torna intra-pessoal.

2.2 METODOLOGIA APLICADA

O método utilizado na atividade extra-classe proposta, busca a interação entre os conceitos físicos inerentes em alguns processos de transformação de energia, com as idéias prévias e o meio sócio-cultural dos estudantes.

Para este fim, procurou-se desenvolver práticas experimentais que enfatizam o aproveitamento energético, questionários, que além de darem margem a uma conceituação mais formal, fazem referência a situações ou elementos da vida cotidiana dos alunos e textos que retratam problemas ligados a parte de exploração de recursos naturais para uma auto suficiência do Brasil em geração de energia, através de processos que não oferecem riscos ou consequências prejudiciais ao meio ambiente.

2. 3 MATERIAIS E EXPERIMENTOS

A seguir descreveremos os equipamentos utilizados nas nossas atividades

2.3.1 Transformação de energia potencial em energia cinética

MATERIAL:

- 1 canaleta de Alumínio de 120cm;
- 1 bolinha de vidro pequena;
- Pregos para fixar a canaleta no suporte;
- 1 suporte de madeira de 18x30cm.

MONTAGEM:

Entortar um trecho da canaleta apoiada em um objeto cilíndrico para que fique com um formato circular. Fixar a canaleta sobre o suporte de madeira como ilustra a figura 1.



Figura 1. Montagem do Looping.

2.3.2 Transformação de energia mecânica em energia elétrica

MATERIAIS:

- Suporte de madeira (31 x 11,5 x 2cm);
- ímãs (3 x 2,5cm);
- 1 anel com diâmetro interno de 0,5cm;
- Bobina com 3000 espiras;
- 2 polias com raios de 2,5cm e 8,5cm;
- Correia de borracha com 20cm de diâmetro;
- Manivela de alumínio;
- Conector de fio com 3 entradas e 3 saídas;
- Núcleo de transformador em U;
- Durepox;
- Eixo menor de 7,5cm de comprimento e 0,5cm de raio;
- Eixo maior de 15cm de comprimento e 0,8cm de raio;
- 6 leds (3 amarelos e 3 verdes);
- Suporte de madeira (25 x 3 cm);
- Base de madeira (8,5 x 5 x 2,5cm);
- Fios para conexão;
- 2 jacarés.

MONTAGEM:

Fixar a polia maior, com o eixo maior e a manivela da seguinte forma:

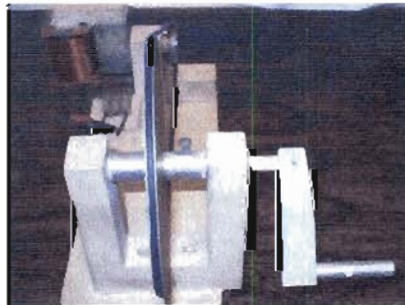


Figura 2. Montagem da polia maior do gerador.

A polia menor deve ser colocada em frente a maior, o conector de fios e a bobina, bem como os ímãs, colados com durepox, devem ser fixados ao núcleo de transformador em U como ilustra a figura 3.



Figura 3. Montagem dos ímãs, bobina ,polia menor e conector de fios.

Os leds amarelos devem ser ligados com os pólos invertidos em relação aos verdes, afim de que eles acendam alternadamente, já que quando a corrente passar pelos amarelos não passará nos verdes e vice-versa. A figura 4 mostra a colocação dos ledes no suporte, como também, a forma através da qual estão ligados à bobina.



Figura 4. Montagem dos Leds.

2. 3. 3 Transformação de energia calorífica em energia cinética

MATERIAIS:

- 1 lata com tampa metálica (servirá como caldeira);
- 1 lata de sardinha;
- 1 garrafa de 600 ml de refrigerante;
- 1 turbina de raio 4cm(semelhante a uma roda d'água) feita de lata de refrigerante;
- Velas;
- Fita isolante;
- Pregos;
- 1m de arame;
- "Canudinho" de alumínio de 4cm;
- 1 suporte de madeira de 17x20cm.

MONTAGEM:

Montar um suporte de arame para a caldeira e outro com a garrafa de refrigerante, onde apoiaremos a turbina, fixá-los um de frente para o outro, na madeira utilizando pregos. Furar a tampa metálica para atravessar o canudinho de alumínio e vedar a tampa com fita isolante. Colocar água até a metade da lata através do canudinho de alumínio.

Posicionar a lata de sardinha (com a tampa cortada) sob o suporte de alumínio onde se colocará a caldeira contendo água, pôr velas dentro da lata de sardinha e apoiar a turbina no seu suporte. Observe a ilustração representativa da figura 5.



Figura 5. Montagem da máquina térmica.

2.2.4 Transformação de energia elétrica em energia química

MATERIAL:

- Um tubo de vidro em U
- 2 fios grossos de cobre;
- Fonte de tensão regulada para 5V;
- Fios com jacaré nas extremidades para conexão entre fonte e eletrodos.
- 2 retângulos de 10x 3 cm de telinha metálica

MONTAGEM:

Coloque solução de água e sal no tubo. Retire o verniz do fio grosso de cobre. Numa das extremidades enrole a telinha de metal. Introduza um fio em cada lado do tubo. Ligue os terminais, positivo e negativo da fonte aos eletrodos. Observe a figura 6 abaixo:

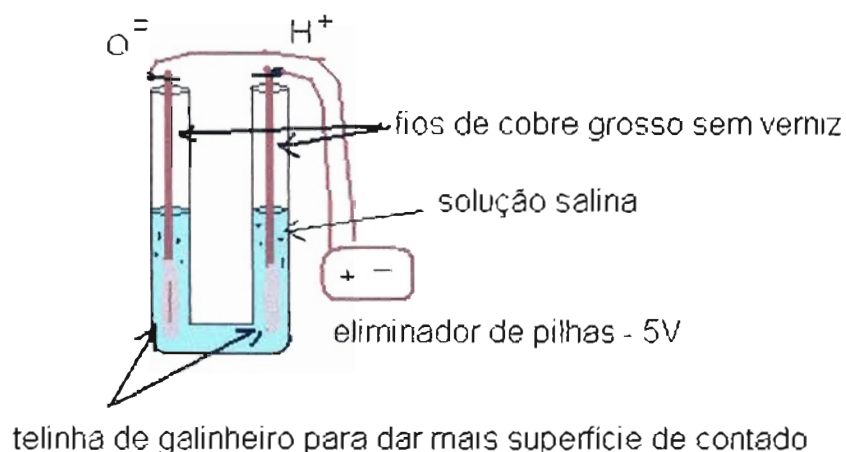


Figura 6. Ilustração representativa da montagem da eletrólise.

2.3.5 Transformação de energia eólica em energia cinética e potencial

MATERIAIS:

- 3 garrafas Pet;
- 1 suporte de caneta esferográfica;
- 2 plásticos circulares que revestem o parte interna das tampas das garrafas;
- 1 objeto pequeno (bonequinho, pedacinho de arame, carrinho, etc);
- 1 papa-vento;
- Linha de costura;
- Arame;
- 1 lata de refrigerante;
- Cola de silicone.

MONTAGEM:

Cortar uma das garrafas na sua parte inferior, outra na sua parte superior e a última em ambas as partes, encaixar as garrafas colocando por baixo aquela que foi cortada na parte de cima, no meio aquela que foi cortada em cima e em baixo e por cima aquela garrafa que foi cortada na parte inferior. Nesta última, faremos dois furos diametralmente opostos próximos a sua “boca”, por onde passaremos dois pedaços pequenos de suporte de

caneta. Fazer o papa-vento com lata de refrigerante. Cortar o molde (Figura 7b) e prender com arame no centro as pontas alternadas. Passar o arame pelos tubos de caneta. Amarra no centro do arame um fio e na extremidade deste um objeto leve.

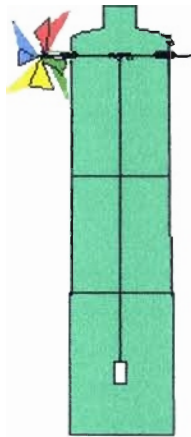


Figura 7a. Montagem do experimento.

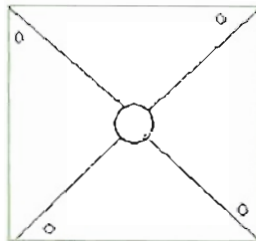


Figura 7 b. Molde do papa-vento.

2.3.6 Transformação de Energia Solar em energia calorífica

MATERIAIS:

- 1 tabuleiro de tefal de 48x32 cm;
- 1 placa de vidro de 48x32 cm;
- 2 termômetro de aquário;
- 3m de serpentina de cobre;
- 1m de mangueira com diâmetro da serpentina;
- 2 garrafas Pet ;
- 2 controladores de soro;
- 2 placas de madeira de 10x10x1 cm ;
- 1 tarugo de madeira de 15x4x4 cm;
- Cola de silicone para vedação;
- Uma base de madeira 50x40x1 cm;
- 2 tarugos de madeira de 25x4x2 cm e 1 de 48x4x4 cm – tintas para acabamento;
- Dois bocais de lâmpadas – 2 lâmpadas de 200 W – fios – tomada macho.

MONTAGEM:

Primeiro entortamos o cano de cobre no formato de uma serpentina (vide figura 8). Fazemos dois furos na lateral do tabuleiro e introduzimos a serpentina. A serpentina é pintada com tinta esmalte preto.

Colamos o vidro no tabuleiro com cola de silicone para vedar. Colocamos nas pontas das serpentinas uma mangueira transparente. Um controle de soro é colocado em cada garrafa PET a uns 5 cm do fundo. Conectamos o controle de soro nas mangueiras. Introduzimos um termômetro de aquário em cada garrafa.

Para simularmos a luz solar colocamos o nosso conjunto sobre uma base de madeira e levantamos duas laterais de madeira próximas do tabuleiro. Unimos estas laterais com um tarugo de madeira onde colocamos dois bocais (em paralelo) com duas lâmpadas de 100 Watt. Com duas placas pequenas e o tarugo de madeira, monta-se o suporte da garrafa.

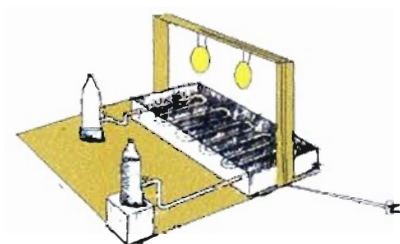


Figura 8. Ilustração representativa do aquecedor solar. [www.if.ufrj.br/~ligia]

CAPÍTULO 3 – HISTÓRICO

UM BREVE HISTÓRICO SOBRE A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Iniciaremos nossa atividade falando um pouco sobre o histórico do termo energia e sua conservação.

Desde a antiguidade, a observação de eventos regulares ou constantes, tem sido relevante para a humanidade. Os Babilônios, já a 2000 aC, sabiam que a regularidade do movimento celeste oferecia uma base coerente para a previsão das estações do ano; sua repetição cíclica trazia uma sensação de controle e tranquilidade: o Sol retorna todos os dias, a Lua fica cheia a cada 28 dias, o solstício de verão acontece a cada 365 dias etc. Porém, durante o desenvolvimento histórico-cultural da humanidade encontram-se os pré-socráticos, os quais afirmavam que, embora a natureza (*physis*) seja imperecível, ela dá origem a todos os seres infinitamente variados e diferentes do mundo, seres que, ao contrário do princípio gerador, são perecíveis ou mortais.

Empédocles de Agragas (492 aC) foi um pré-socrático, e tal como os demais, buscava uma explicação racional e sistemática sobre a origem, ordem e transformação da *physis*, da qual os homens faziam parte. Ele postulou uma importante teoria na época, conhecida como teoria dos quatro elementos de Empédocles, que era defendida por Aristóteles (um dos maiores pensadores da antiguidade) e está relacionada com a observação de uma determinada regularidade e/ou conservação de elementos na natureza. A teoria dos quatro elementos afirmava que o mundo era constituído por quatro elementos: a água, que ao solidificar-se, transformava-se em terra ou que ao evaporar sob ação do fogo convertia-se em ar, assim sendo, água, terra, ar e fogo eram os quatro elementos.

Esta teoria só foi invalidada definitivamente em 1789 pelo químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), considerado o fundador da química moderna. Ele mostrou que, embora a matéria altere seu estado durante uma reação química, a quantidade de matéria presente no início da experiência é exatamente a mesma existente ao final da experiência. Assim, Lavoisier enunciou a lei ou princípio de conservação das massas, traduzida pela célebre frase: “Nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

Utilizando-se da idéia de conservação das massas de Lavoisier, Helmholtz postulou a lei ou princípio de conservação da energia, ao dizer, “A energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada de uma espécie em outra”. De acordo com esse princípio, há uma grandeza denominada *energia* que se conserva, isto é, o total de energia do Universo é sempre o mesmo. Como veremos, na realidade há várias espécies ou formas de energia, sendo possível que uma forma se transforme em outra, mas o total permanece o mesmo. [Ronan, 2001, Vugmam, 2005, Gonçalves, 1978].

Vale dizer, que mesmo bem antes da elaboração das primeiras teorias sobre a conservação de elementos ou grandezas na natureza, a ser humano já fazia uso do aproveitamento daquilo que veio a ser chamado de energia, como por exemplo, o aproveitamento dos ventos na moagem de grãos.

Durante o desenvolvimento da ciência, o princípio de conservação da energia foi mostrando-se muito útil. Na Física, em especial, foi um dos primeiros métodos encontrados para se analisar os movimentos sem depender da aplicação direta das leis de Newton (com contribuições importantes em mais de um campo da Física, Newton é considerado hoje como um dos maiores, se não o maior cientista de todos os tempos. Através de seu magnífico trabalho “Princípios matemáticos da filosofia natural” formulou matematicamente, as três leis mecânicas que regem os movimentos na natureza e a lei da gravitação universal contribuindo assim para o desenvolvimento de novos conceitos matemáticos).

O próprio conceito de energia mecânica e de conservação da mesma pode ser obtido através da 2ª lei de Newton diretamente, desde que a força resultante sobre uma hipotética partícula dependa apenas de sua posição, ou seja, desde que a força resultante seja conservativa. Vale a pena ressaltar que, historicamente, algumas interpretações como a de *força viva*, para o que hoje é conhecido como Teorema do Trabalho e Energia Cinética foram feitas na época, já que o próprio termo, *energia*, não havia sido estabelecido ainda. [Calçada, 2001, Venícius, 2004].

Entretanto, as aplicações do princípio continuaram sendo feitas e enriqueceram bastante nossa compreensão do Universo. Muitas vezes através de um simples cálculo de energia sabemos se determinado fenômeno é possível ou não. por exemplo, o aquecimento de substâncias em contato com um condutor que é atravessado por uma corrente elétrica.

Ao estudar este fenômeno o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) formulou a lei que relaciona a intensidade da corrente elétrica (i) que atravessa um condutor com a resistência elétrica (R), com o calor (Q) dissipado na resistência e com o intervalo de tempo (Δt) correspondente, obtendo a expressão matemática que veio se chamar lei de Joule-Lenz:

$$Q = Ri^2\Delta t \quad (3.1)$$

Além disso, como era filho de um próspero cervejeiro de Manchester, importante centro industrial da Inglaterra, Joule iniciou-se na ciência pelo interesse de desenvolver máquinas mais eficientes para fabricar cerveja. Determinou o equivalente mecânico de calor – razão entre energia mecânica e energia térmica correspondente. Joule, nos trabalhos que publicou, utilizou a palavra *força* com significado de energia, mostrando mais uma vez que em ciência, a linguagem também se modifica e evolui. [Gaspar, 2000]

Com a capacidade de se converter energia térmica em energia mecânica foram construídas as primeiras máquinas térmicas (máquinas a vapor) que tiveram grande importância na Revolução Industrial, ocorrida entre 1760 e 1860. A primeira máquina a vapor realmente eficiente foi desenvolvida por James Watt em 1769. [Calçada, 2001].

O princípio de conservação da energia ainda se revelou válido, mesmo nos casos em que a mecânica clássica não vale. No século XX, descobriu-se que as leis de Newton não são adequadas para descrever o comportamento de partículas atômicas e sub-atômica. Para descrever tais comportamentos foi desenvolvida a mecânica quântica que não invalida, por sua vez, o princípio de conservação da energia.

Devemos fazer uma observação quanto a elaboração da teoria da relatividade restrita feita por Albert Einstein, que no início do século XX nos deu a possibilidade de transformar massas em energia, e vice-versa ($E = mc^2$ (3.2), onde m é a massa do corpo que é função de sua velocidade v , c é a velocidade da luz no vácuo e E é a energia). Em relação as formas de energia, além das duas aceitas pela física clássica – a cinética e a potencial –, há ainda a energia de repouso, postulada por Einstein na Teoria da relatividade, ou seja, simples fato de um corpo existir já lhe confere uma energia, a energia de repouso ($E = m_0c^2$ (3.3)), onde m_0 é a massa de repouso do corpo. Esse novo

desenvolvimento da Física abalou profundamente os princípios de conservação da energia e da massa, hoje sabemos de forma mais geral, que o que permanece constante é o conjunto massa-energia. [Gaspar, 2000].

Assim sendo, o princípio de conservação da energia revelou-se útil também na descoberta de novos fatos. Há uma história interessante, envolvendo alguns dos maiores físicos do século XX que vale a pena ser contada, pois revela um dos caminhos seguidos pelos físicos em suas pesquisas. Por volta de 1930 começou-se a estudar em laboratório um fenômeno denominado *decaimento beta*, que consiste numa desintegração de um nêutron, dando origem a um próton e um elétron: $n \rightarrow p + e$

Como o elétron era conhecido pelo nome de partícula beta, o processo foi chamado de decaimento beta. Ao fazer o cálculo das energias, os físicos descobriram que a energia total após a desintegração era menor que a energia de antes da desintegração; aparentemente, uma parte da energia havia desaparecido. A experiência foi repetida várias vezes, em vários laboratórios do mundo todo e o resultado era sempre o mesmo: uma parte da energia desaparecia. Vários físicos famosos chegaram a sugerir que o princípio de conservação da energia poderia não ser válido; talvez em alguns processos a energia não se conservasse. No entanto, a credibilidade no princípio fez com que o físico austríaco Wolfgang Pauli, em 1933, lançasse a hipótese de que talvez se produzisse uma terceira partícula, além do próton e do elétron, como resultado da desintegração do nêutron: $n \rightarrow p + e + ?$

Pauli sugeriu que essa terceira partícula seria muito menor que o elétron e, assim, os aparelhos disponíveis na época não seriam suficientemente sensíveis para percebê-la. O físico italiano Enrico Fermi gostou da idéia e batizou a hipotética partícula com o nome de *neutrino* (diminutivo de nêutron em italiano), pois, se essa partícula realmente existisse, os dados experimentais indicavam que ela seria neutra, isto é, não teria carga elétrica. Durante mais de vinte anos a dúvida permaneceu. Apenas em 1956 com o uso de reatores nucleares (os quais não existiam na década de 30), foi possível demonstrar a existência do neutrino, que transportava a energia aparentemente perdida durante o decaimento beta. Dessa forma salvou-se o princípio de conservação da energia. [Calçada . 2001].

Energia. Como surgiu esse termo? O que ele significa atualmente na Física?

A palavra energia foi usada pela primeira vez num texto científico em 1807 pela Royal Society Inglesa, por sugestão do médico e físico Thomas Young (1773-1829). Outra de suas idéias brilhantes, mas que permaneceu desaparecida nos arquivos da ciência, foi a definição de energia como a capacidade de realizar trabalho, ou seja, deslocar determinada massa por uma distância.

Até hoje ninguém conseguiu dar uma definição satisfatória de energia, visto a existência das várias formas em que ela se apresenta. Às vezes é possível dar uma definição que serve para alguns casos, mas não para todos. O fato de não se ter uma definição geral não aflige os físicos. O importante mesmo é o fato revelado pela experiência: o total de energia do Universo é constante; a energia pode se transformar de uma forma em outra, mas, quando calculamos o valor de cada uma delas, o total é sempre o mesmo. A esse respeito vale a pena tomar conhecimento do que escreveu o grande físico norte-americano Richard P. Feynman:



Figura 9 - Richard P. Feynman (1918-1988) ganhador do prêmio Nobel em 1965, pelo trabalho fundamental em eletrodinâmica quântica, com profundas conseqüências para a física das partículas elementares. Um dos físicos mais brilhantes do século XX [Calçada, 2001].

“É importante observar que hoje nós não sabemos o que é de fato energia. O que sabemos é que existe uma lei governando todos os fenômenos naturais conhecidos até hoje. Não existe nenhuma exceção conhecida a essa lei, que é conhecida pelo nome de lei da conservação da energia. Ela estabelece que há uma certa quantidade, que nós chamamos energia, cujo valor não se altera, nas mudanças que ocorrem na natureza. Ela não é a descrição de um mecanismo ou qualquer coisa concreta. É uma lei abstrata porque é um princípio matemático. Ela exprime o fato de que, quando calculamos um certo número (o valor da energia) no início e no fim de um processo, os resultados são iguais”. [Calçada, 2001].

CAPÍTULO 4 – ENERGIA E SUAS TRANSFORMAÇÕES

4. 1 ENERGIA MECÂNICA – TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA CINÉTICA EM ENERGIA POTENCIAL

O experimento proposto para trabalharmos a transformação de energia potencial em energia cinética é conhecido como *looping*, que em inglês significa algo como “fazer uma volta”. Uma esfera abandonada de uma altura mínima em uma rampa, pode percorrer todo o trajeto determinado pelo trilho. Temos a possibilidade então, de reparar com clareza o papel da energia potencial gravitacional a partir da altura mínima necessária para descrever o *looping*.



Figura 10. Experimento do looping.

Procedimento Experimental:

Abandonar a bolinha de diferentes alturas até que se descubra, a altura mínima necessária para que ela descreva o looping. Verificar que a altura obtida experimentalmente não coincide com aquela obtida teoricamente pela conservação da energia mecânica, devido ao atrito entre a canaleta e a bolinha e a energia cinética de rotação da bolinha.

Esta atividade prática em conjunto com três perguntas básicas foram apresentadas à uma turma em fase de conclusão do Ensino Médio (3º ano). Em algum momento do Ensino Médio, tais alunos já haviam tido contato com conceitos referentes à energia cinética e potencial, como também já tinham feito exercícios de conservação da energia mecânica e de variação da mesma.

Avaliação de conhecimentos prévios:

1) Inicialmente, o que precisa ser dado à esfera para que esta tenha possibilidade de descrever o *looping*?

- Velocidade inicial necessária;
- Força adequada;
- Altura adequada.

2) Do que a esfera está dotada, ao longo de seu trajeto, que causa seu deslocamento e faz haver realização de trabalho na situação?

- Velocidade;
- Aceleração;
- Força.

3) Por que, se fizermos o cálculo de uma altura mínima necessária para se abandonar a esfera a fim de ela possa descrever o *looping*, baseados no princípio de conservação da energia mecânica, tal altura não será de fato a mínima necessária?

- Gravidade;
- Algo não foi considerado;
- A esfera deveria ser mais pesada;
- Cálculo aproximado.

Comentários:

Com relação às respostas dadas à primeira pergunta, podemos ressaltar que apesar de já terem visto os conteúdos de energia do Ensino Médio, os alunos confundem muito, energia com outros conceitos físicos, tais como velocidade e força. A resposta dada em

termos de “velocidade inicial necessária” poderia ser aproveitada se considerássemos uma situação em que a esfera ao invés de ser abandonada, fosse arremessada de determinada altura com uma velocidade suficiente para que pudesse fazer o *looping* (energia mecânica suficiente), ou seja, formalizaríamos o conhecimento do aluno colocando a ele que dentro dessa situação de arremesso da esfera, deveríamos ter a altura e a velocidade do arremesso relacionadas com a altura e a velocidade mínima da esfera no ponto mais alto do *looping*, da seguinte maneira:

$$E_{inicial} = E_{final} \quad (4.1.1)$$

$$\frac{mv_i^2}{2} + mgh_i = \frac{mv_f^2}{2} + mgh_f \quad (4.1.2)$$

onde v_i é a velocidade inicial necessária, h_i é a altura inicial, $v_f = \sqrt{Rg}$ (R é o raio do *looping*) e $h_f = 2R$ é a altura final.

Porém, na situação mais comumente encontrada no Ensino Médio, teríamos a esfera sendo abandonada ($v_i = 0$) de uma altura h_i mínima necessária para a descrição do *looping*. O equacionamento do problema seria então, o seguinte:

$$mgh_i = \frac{mv_f^2}{2} + mgh_f \quad (4.1.3)$$

Caberia, no momento, a seguinte pergunta aos alunos: Quem deve ser maior h_i ou h_f ?

Em última análise, para essa primeira questão, estaríamos com os princípios acima, reforçando e lapidando o conhecimento dos alunos que responderam: “altura adequada” para que a esfera pudesse descrever o *looping*. Da equação 4.3, pode-se concluir que:

$$h_i = \frac{5}{2} R \quad (4.1.4)$$

Buscou-se com a segunda pergunta, analisar se os alunos saberiam relacionar energia com a capacidade de se deslocar, ou seja, de realizar trabalho. As respostas dadas nos dão margem a dizer que os alunos não têm as relações de causa e efeito bem

conceituadas, melhor dizendo, não sabem distinguir bem grandezas como velocidade, aceleração e força e muito menos estas três grandezas de energia e trabalho. Poderíamos aproveitar a resposta “velocidade” dada por alguns alunos, haja vista que a energia cinética é diretamente proporcional ao quadrado desta, e “força” dada por outros, já que sem esta não há realização de trabalho, para passar alguns conceitos. Seria útil, nesta situação, colocar-lhes os seguintes princípios:

$$W_F = Fd \cos \theta, \text{ desde que } F \text{ seja constante.} \quad (4.1.5)$$

$$W_{TOTAL} = W_{RES} = W_{F1} + W_{F2} + W_{F3} + \dots \quad (4.1.6)$$

$$W_{RES} = \Delta E_C \quad (4.1.7)$$

$$W_{Fcons.} = -\Delta E_P \quad (4.1.8)$$

Como a “única” força que é inerente à situação é a força peso (conservativa), temos:

$$W_{RES} = W_{Fcons.} \quad (4.1.9)$$

$$E_{Mficial} = E_{Mfinal} \quad (4.1.10)$$

Apenas de forma conveniente pedagogicamente e inicial, valeria a pena também, colocar que um sistema conservativo é aquele no qual só agem forças conservativas, ou seja, aquelas que não retiram energia mecânica do sistema, apenas fazem a transferência de uma forma de energia em outra (cinética em potencial e vice-versa). Em cima disso e seguindo a mesma tendência, poderíamos enunciar a lei de conservação da energia mecânica de maneira mais informal, tal como:

“Em sistemas nos quais só agem forças conservativas, a energia mecânica do sistema se conserva.”

Por fim, algumas respostas da terceira questão mostram ainda conflitos entre idéias, por exemplo, “gravidade” e “a esfera deveria ser mais pesada” foram respostas dadas à pergunta do por quê, a altura mínima calculada teoricamente pelo princípio de

conservação da energia mecânica não é a suficiente na prática. No entanto, alguns alunos raciocinaram de forma mais lógica ao responderem: “Algo não foi considerado” e “cálculo aproximado”. Percebe-se, que apesar deles não saberem de fato para onde vai parte de energia inicial do sistema, eles têm a idéia de alguma coisa foi negligenciada teoricamente e que na prática precisa ser considerada. Seria conveniente então, passar-lhes os conceitos de forças dissipativas, cujos trabalhos retiram energia mecânica do sistema, e que esta energia mecânica retirada é transformada parte em calor e parte em energia sonora, além de não levarmos em conta também a energia cinética de rotação da esfera, conceito somente trabalhado no ensino superior.

Seria relevante trabalharmos o seguinte conceito:

$$W_{\text{diss}} = \Delta E_M \quad (4.1.11)$$

E após isto, formalizaríamos dois outros conceitos já apresentados de maneira informal.

“Sistema conservativo é aquele em o trabalho das forças dissipativas pode ser desprezado.”

“A energia mecânica se conserva desde que possamos considerar um sistema como sendo conservativo.”

Muitos alunos ao saberem disso perguntariam:

- “Então, para que este princípio serve se eu não posso aplicá-lo na prática?”

O princípio pode ser aplicado na prática de forma a auxiliar nossos cálculos.

- “Auxiliar nossos cálculos? Como assim?”

Por exemplo, se dentro da situação do *looping*, tivéssemos uma superfície bem polida a ponto da medida do trabalho das forças dissipativas ser muito menor que a medida o trabalho das forças conservativas, em boa aproximação ele será válido, e a partir desses cálculos poderemos concluir qual a energia mecânica inicial que deve ter o sistema, para que possamos ter a descrição do *looping* por parte da esfera sem que esta corra risco de cair.

Obs. : Vale indicar que : $E_{cin} = \frac{I\omega^2}{2}$ (4. 1. 12), onde $I = \frac{2}{5}mR^2$ (4. 1. 13) é o momento de inércia ou inércia de rotação de uma esfera de raio R e massa m . Por isso, quanto menor for a esfera em comparação com a altura de queda, mais teremos minimizado esse efeito.

4. 2 TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA EM ENERGIA ELÉTRICA

Um exemplo bem prático, onde ocorre esse tipo de transformação energética é o de uma usina hidrelétrica. Na usina hidrelétrica, energia potencial da água armazenada em uma represa se transforma em energia cinética durante sua queda pela tubulação. Essa energia é usada para fazer girar uma turbina e seu movimento de rotação faz girar o gerador, produzindo corrente elétrica.

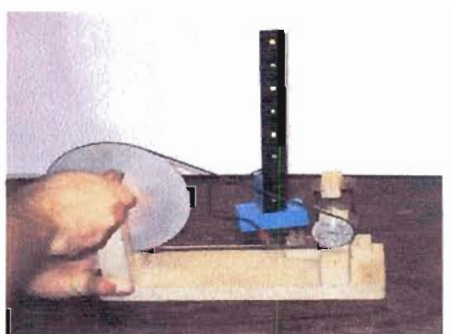


Figura 11. Dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica detalhado acima.

Procedimento Experimental:

Gira-se a manivela de modo a transmitir movimento de rotação às polias, a polia menor gira junto com os ímãs, que assim, induzem uma corrente alternada na bobina.

Na atividade proposta para demonstrar a transformação de energia mecânica em energia elétrica temos duas polias associadas por uma correia, um ímã ligado coaxialmente à polia menor, uma bobina, uma manivela, usada para impulsionar o movimento de rotação às polias, ligada à polia maior e leds verdes e amarelos ligados à bobina.

Avaliação de conhecimentos prévios:

1) Ao rodar a manivela, porque as luzes acenderam?

- O atrito no dispositivo gera energia térmica, e esta por sua vez se transforma em energia elétrica;
- A força, a qual submetemos a manivela, gera uma corrente elétrica.

2) Por que as luzes verde e amarela acenderam de maneira alternada?

- Quando a corrente chega os contatos nas lâmpadas alternam-se abrindo e fechando;
- Cada uma possui uma resistência diferente que possibilita essa alternância;
- A forma na qual elas estão ligadas possibilita isso.

3) Por que giramos diretamente a manivela maior e não a menor?

- A polia maior gera mais força;
- Por que ao girarmos a polia de maior raio, teremos uma maior ddp nas lâmpadas;
- A energia elétrica será maior.

Comentários:

Em relação a primeira pergunta, nota-se em princípio, que os alunos conseguem associar de maneira razoável determinadas idéias, por exemplo, ao dizerem: “atrito no dispositivo gera energia térmica”. Eles mostram que sabem que o atrito está ligado ao

aparecimento de energia térmica, porém não conhecem o fato de que o atrito ou uma resistência é um elemento dissipativo de energia e que essa quantidade de energia que é dissipada de um sistema mecânico ou elétrico, deixa estes sistemas, principalmente, sob a forma de energia térmica. No entanto, os alunos associaram essa possível energia térmica ao surgimento de uma energia elétrica trabalhando com a idéia correta de conservação de energia.

O segundo tópico em torno do qual giraram as respostas dos alunos para essa primeira questão, apresenta a incapacidade dos alunos de discriminar elementos físicos, tais como, força e corrente elétrica, além de novamente, não conseguirem expressar qual grandeza associada ao movimento das manivelas se transforma para possibilitar o acendimento dos leds.

Complementamos esta análise passando os seguintes conceitos:

- ✓ A equação (4. 1. 11), a fim de formalizar, mais uma vez, que a força de atrito em um sistema mecânico é uma das responsáveis pela variação de sua energia.
- ✓ $P = Vi$ (4. 2. 1), onde P é a potência dissipada numa resistência elétrica, V é a diferença de potencial nos terminais do resistor e i é a corrente elétrica que o atravessa. Lembrando ainda que $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, onde Δq é a quantidade de carga elétrica que atravessa a secção reta do condutor dentro do intervalo de tempo Δt .

Estes dois conceitos formalizariam para o aluno a idéia de que um elemento dissipativo (atrito, resistência) *retira energia do sistema por intermédio da realização de trabalho*. E que a energia térmica é a forma sob a qual essa energia é dissipada.

E ainda:

Força não se transforma em corrente elétrica, e sim a energia mecânica do movimento das polias é que é transformada em energia elétrica através de indução eletromagnética, haja vista que temos esse movimento de rotação das polias transmitido a um ímã, e este ao girar provoca variação, no fluxo do campo magnético através da bobina,

possibilitando o surgimento de uma força eletromotriz induzida e conseqüentemente a passagem de corrente elétrica através da mesma.

- ✓ $\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ (4. 2. 2)(lei de Faraday), onde N é o número de enrolamentos (espiras) da bobina, ϕ é o fluxo do campo magnético, Δt é o intervalo de tempo e ε é a força eletromotriz induzida.

Obs. : Abaixo, apresentaremos a lei de Faraday em sua forma diferencial para trabalharmos corrente alternada, embora saibamos que esta forma não é a mais adequada ao Ensino Médio comum.

- ✓ $i = \frac{\varepsilon}{R}$ (4. 2. 3), onde i é a corrente elétrica induzida na bobina e R é a resistência da mesma.

Na seqüência, analisando as respostas da questão 2, percebe-se que os alunos nunca ouviram falar de corrente alternada, que eles usam diariamente em suas casas e muito menos em leds (diodos). que eles vem nos mostradores de todos os aparelhos eletrônicos, como indicativo de acesso. Vale ressaltar, entretanto, que estes assuntos não fazem parte do programa do Ensino Médio , mas poderíamos fazer um breve comentário sobre eles:

Corrente Alternada:

Na lei de Faraday, $\phi = BS \cos \theta$ (4. 2. 4), onde B é o dado valor do campo magnético, S é a área de secção reta da bobina e θ é o ângulo entre \vec{B} e \vec{n} que é vetor unitário da direção perpendicular à secção reta da bobina . Conclui-se então, que $\phi_{m\acute{a}x}$ é obtido quando $\cos \theta = 1$, ou seja, $\phi_{m\acute{a}x} = BS$.

$$\phi_{m\acute{a}x} = BS \quad (4. 2. 5)$$

$$\phi = \phi_{m\acute{a}x} \cos \theta \quad (4. 2. 6)$$

$$\varepsilon = N\omega\phi_{m\acute{a}x} \sin \theta \quad (4. 2. 7), \text{ onde } \omega$$

é a velocidade angular do ímã ou da bobina.

$$\varepsilon_{\text{máx}} = \omega \phi_{\text{máx}} \quad (4.2.8)$$

$\varepsilon = \varepsilon_{\text{máx}} \sin \theta$ (4.2.9), como $\theta = \omega t$ e $\omega = 2\pi f$, temos:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{máx}} \sin(2\pi f t) \quad (4.2.10), \quad \text{de acordo com a (4.2.3),}$$

teremos para a corrente elétrica induzida a seguinte expressão:

$$i = i_{\text{máx}} \sin(2\pi f t) \quad (4.2.11)$$

Esta frequência f é comumente chamada de ciclagem da corrente alternada. No Brasil usa-se 60 Hz. [Gonçalves, 1978]

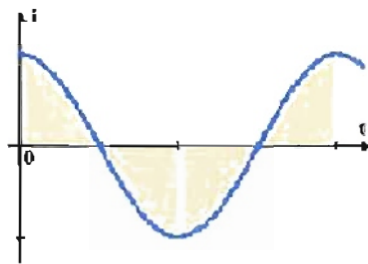


Figura 12. Gráfico do comportamento da corrente elétrica em função do tempo [www.feiradeciências.com.br]

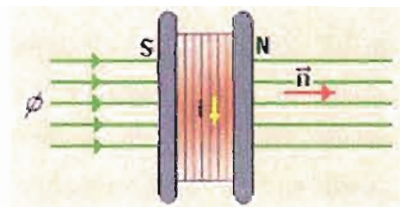


Figura 13. Convenção para o vetor unitário e o sentido positivo da corrente elétrica. [www.feiradeciências.com.br]

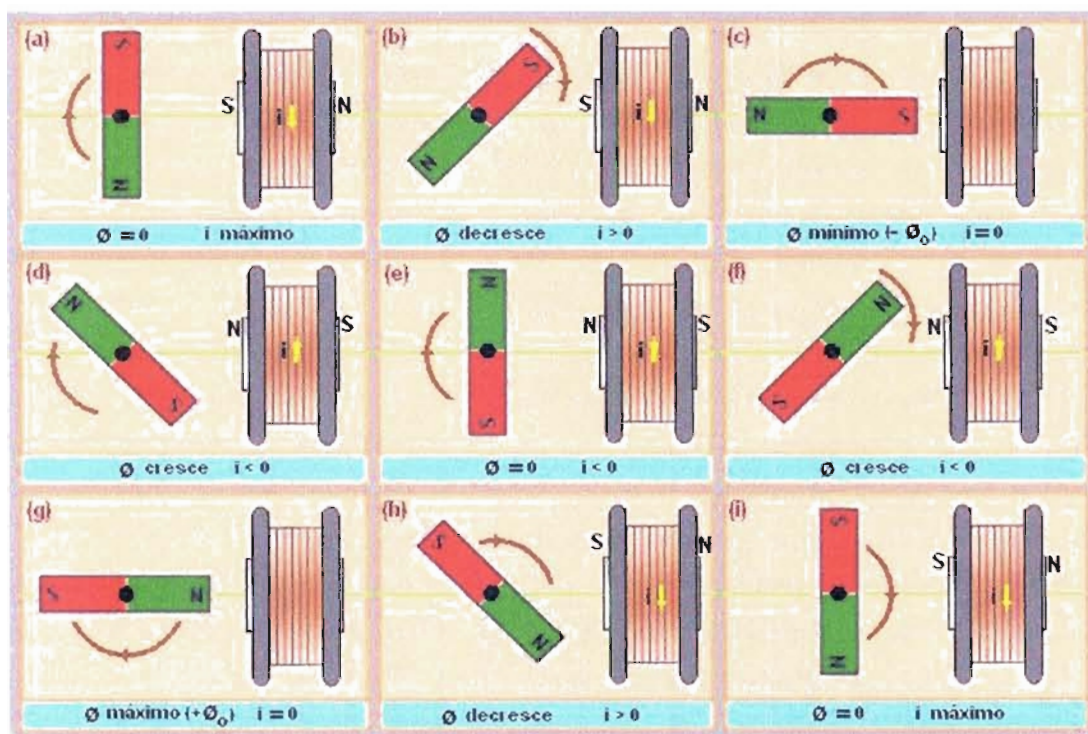


Figura 14. Mostra o movimento de rotação de um ímã e conseqüentemente o que acontece com a corrente induzida na bobina. [www. feiradeciências. com. br]

Para complementar as explicações sobre corrente alternada, apresentaremos a figura 14 com seus 9 (nove) quadros e os explicaremos um por um, como segue abaixo.

Em (a) temos $\theta = (2\pi f t) = 90^\circ$, então a corrente i assume seu valor máximo, (b) já nos mostra uma disposição entre o ímã e a bobina em que $i > 0$, porém já mais próximo de zero do que o valor máximo anterior, (c) temos $\theta = 0^\circ$, logo $i = 0$, (d) a disposição entre ímã e bobina nos dá um primeiro valor negativo para i , (e) temos $\theta = -90^\circ$ e i assume seu valor mínimo, (f) a corrente continua negativa, porém maior que o valor anterior, (g) temos novamente o valor zero para a corrente elétrica, em (h) $i > 0$ de novo e em (i) voltamos a obter um valor máximo para a corrente elétrica induzida.

Concluiríamos a análise, observando que se a corrente elétrica induzida na bobina oscila, à medida que o ímã gira, entre um valor máximo e um valor mínimo de módulos iguais. ela pode ser dada pela equação (4. 2. 11). Valeria ainda comentar sobre as polarizações norte(N) e sul(S) induzidas nas faces bobina, que vão alternando-se conforme o movimento do ímã.

Um dispositivo como o ilustrado na figura 12, tem por finalidade produzir energia elétrica às custas de energia mecânica, a este tipo de dispositivo dá-se o nome de máquina geradora de energia elétrica. O funcionamento dessas máquinas se baseia ou em fenômenos eletrostáticos (como no caso do gerador Van de Graaff), ou na indução eletromagnética (como no caso do exemplo acima). Nas aplicações industriais a energia elétrica provém quase exclusivamente de geradores mecânicos cujo princípio é o fenômeno da indução eletromagnética. Os geradores mecânicos de corrente alternada são também denominados alternadores, já os geradores mecânicos de corrente contínua são também denominados dinamos. Vale, desde já, notar que: "dínamo" de bicicleta não é dínamo e sim 'alternador'. [Ferraz, 2007]

Numa máquina elétrica (seja gerador ou motor), distinguem-se essencialmente duas partes, a saber: o estator (bobina na figura 12, conjunto de elementos ligados rigidamente à carcaça e o rotor (o ímã na figura 12), sistema rígido que gira em torno de um eixo fixo na carcaça. Sob ponto de vista funcional distinguem-se o indutor, que produz o campo magnético, e o induzido que engendra a corrente induzida. No dínamo o rotor é o induzido e o estator é o indutor; nos alternador dá-se geralmente o contrario. [Texto adaptado de: www.feiradeciências.com.br]

Finalizando os comentários sobre a segunda questão, falaremos brevemente sobre os diodos, que são componentes que só deixam passar corrente elétrica em um sentido e servem para transformar corrente alternada em contínua. O modelo de um diodo ideal diz que ele possui resistência nula em sua polarização direta e infinita na polarização reversa.

Quando submetemos o diodo a uma tensão alternada, no semiciclo positivo desta tensão o potencial do anodo é maior que o potencial do filamento (vide figura 13). Neste caso o diodo conduz corrente. Já no semiciclo negativo da tensão o potencial do anodo é menor que o potencial do filamento e os elétrons são então repelidos pelo anodo, dando ao diodo um comportamento de resistência muito elevada. [Rothier, 2005]

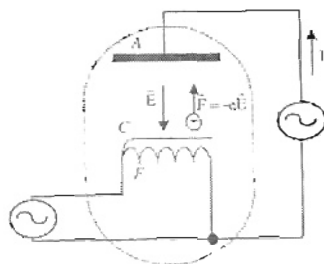


Figura 15. Diagrama esquemático de um diodo a vácuo. [Rothier, 2005].

Logo, a última resposta dada na segunda questão faz um pouco de sentido, já que no experimento os leds (diodos) verdes e amarelos estão dispostos com polaridade invertida uns com os outros, o que possibilita a alternância da passagem de corrente elétrica pelos leds, verde e amarelo, à medida que a corrente tem seu sentido invertido.

Em cima daquilo que foi dado como resposta para a questão três, apresentaríamos ou apenas reforçaríamos os conceitos de transmissão de movimento circular por correia ou corrente, tal como acontece entre a catraca e a coroa de uma bicicleta, e transmissão coaxial de movimento circular, para que justamente com os conteúdos já colocados em comentários anteriores, possamos fornecer ao aluno total possibilidade de compreensão do experimento e do fenômeno que nele ocorre.

Na transmissão de movimento circular por correia ou corrente, temos:

$$V_{maior} = V_{menor} \quad (4.2.12)$$

$$\omega_{maior} R_{maior} = \omega_{menor} R_{menor} \quad (4.2.13)$$

Ou seja, a polia menor gira mais rapidamente que a maior, e como aquela está associada coaxialmente com o ímã temos:

$$\omega_{menor} = \omega_{ímã} \quad (4.2.14)$$

Conclui-se então, que colocando a manivela ligada à polia maior e o ímã associado à polia menor, conseguiremos ser mais eficientes no processo de transformação de energia

mecânica em energia elétrica, haja vista que o ímã gira com a mesma velocidade angular da polia menor.

4. 3 TRANSFORMAÇÃO DE CALOR EM ENERGIA MECÂNICA (TRABALHO)

As máquinas a vapor foram utilizadas para mover locomotivas e navios, como também, foram úteis na produção industrial. Logo, a atividade prática a ser trabalhada nesse tipo de conversão de energia é uma pequena máquina a vapor que consiste em uma caldeira onde o vapor é produzido e liberado por um tubo, que é utilizado para mover as palhetas de um cata-vento. Temos assim, a transformação de calor, utilizado para aquecer a água da caldeira, em energia mecânica do movimento de rotação das palhetas. Esta atividade foi realizada com a mesma turma que presenciou as anteriores.

Procedimento Experimental:

Acender as velas sob a caldeira e esperar até que a água em seu interior ferva liberando vapor pelo canudinho. esse vapor movimentará as pás do cata-vento, mostrando a conversão de calor em energia mecânica.



Figura 16. Máquina Térmica.

A esta turma foram feitas quatro perguntas básicas sobre essa transformação energética, acompanhe-as abaixo, junto com as respectivas respostas dadas pelos alunos e os comentários.

Avaliação de conhecimentos prévios:

- 1) A que se deve o movimento das antigas “Marias fumaça” e também dos antigos navios, como o Titanic?

- Queima de carvão;
 - A utilização de calor.
- 2) O aproveitamento da fonte de calor é alto (acima de 50%) ou baixo (abaixo de 50%)? Como podemos calculá-lo?
- Muita perda de calor para o meio ambiente, inferior a 50% no geral;
 - Aproveitamento alto, superior aos 50%.
- 3) Será que a transformação de calor em energia mecânica pode ocorrer em sentido contrário? Conseguiríamos transformar integralmente calor em trabalho (energia mecânica) e vice-versa?
- Sim, a transformação pode ocorrer em sentido contrário e ambas transformações não se dão integralmente.
- 4) Será que o calor pode ser aproveitado sob outra forma de energia que não seja a mecânica? Em caso afirmativo, cite um exemplo de onde esse aproveitamento pode ocorrer.
- Não, calor só se transforma em trabalho;
 - Sim, pode ser transformado em outras formas de energia.

Comentários:

Analisando os tópicos da primeira pergunta, em torno dos quais variaram as respostas, concluímos que os alunos têm uma boa noção, daquilo que era necessário para mover as antigas locomotivas e os antigos navios. Como também conseguem associar a energia térmica com o movimento, mostrando compreenderem a conversão de calor em

energia mecânica. Valeria a pena enriquecer esse conhecimento, dizendo-lhes como, basicamente, esse processo ocorre.

Ao se queimar o carvão, obtinha-se calor necessário para aquecer a água contida numa caldeira. O vapor d'água, então, entrava em um cilindro produzindo o movimento que era transmitido às rodas das locomotivas ou as pás que impulsionavam o movimento dos navios.

Para a segunda questão tivemos as opiniões bem divididas, alguns alunos acham que o aproveitamento de uma fonte térmica é alto e outros acham que devido a grande perda de calor para o meio ambiente, esse aproveitamento é baixo. Porém, ninguém soube responder como poderíamos calcular esse rendimento. Vemos então, a necessidade de trabalharmos o conceito de rendimento, o ciclo de Carnot e seu rendimento ideal, para uniformizarmos e formalizarmos estas opiniões, visto que as máquinas a vapor têm um baixo rendimento, algo em torno de 40%.

O rendimento de uma máquina térmica é dado por:

$$\text{Rendimento} = \frac{W}{Q_{\text{quente}}} \quad (4.3.1)$$

onde W é o trabalho realizado pela máquina térmica e Q_{quente} é o calor fornecido pela fonte quente (caldeira) à máquina térmica. Podemos também, escrever esse rendimento da seguinte maneira:

$$\text{Rendimento} = \frac{Q_{\text{quente}} - Q_{\text{fria}}}{Q_{\text{quente}}} = 1 - \frac{Q_{\text{fria}}}{Q_{\text{quente}}} \quad (4.3.2)$$

onde $W = Q_{\text{quente}} - Q_{\text{fria}}$ e Q_{fria} é o calor cedido ou liberado pela máquina térmica à fonte fria(meio ambiente).

Obs. : Como calor cedido por um sistema é convencionalmente negativo(convenção utilizada na formulação de primeira lei da termodinâmica), ressaltamos que o valor de Q_{fria} de ser utilizado em módulo, caso contrário teríamos um rendimento maior que 1. obviamente um absurdo. [Gaspar, 2000]

O Ciclo de Carnot:

Se o rendimento de uma máquina térmica é sempre limitado, menor que 1, deve haver um rendimento máximo a ser atingido. Essa foi a conclusão de um engenheiro Francês chamado Sadi Carnot em 1824 [Gaspar, 2000]. Esse rendimento máximo pode ser conseguido através de uma sequência de transformações específicas. Essas transformações são duas isotérmicas e duas adiabáticas que formam um ciclo, o ciclo de Carnot, uma vez que, tanto a transformação isotérmica quanto a adiabática são transformações ideais, visto, a temperatura do sistema ser uma grandeza macroscópica, ou seja, o termômetro não registra as pequenas flutuações decorrentes dos diversos valores de energias cinéticas das partículas do sistema, e de não haver recipientes com paredes perfeitamente adiabáticas.

A uma máquina térmica que opere seguindo um ciclo de Carnot dá-se o nome de máquina de Carnot ou máquina ideal.

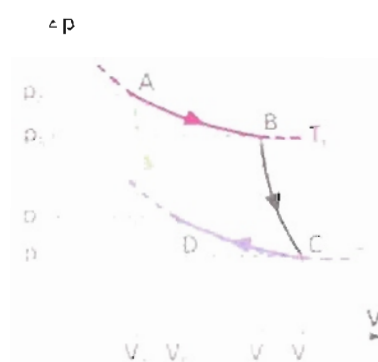


Figura 17: O ciclo de Carnot. As transformações AB e CD são isotérmicas e as transformações BC e DA são adiabáticas [Gaspar, 2000].

O rendimento da máquina de Carnot:

Como as quantidades de calor, absorvida pelo gás da fonte quente e cedida a fonte fria são diretamente proporcionais às respectivas temperaturas da fonte quente T_q e T_f da fonte fria. Podemos escrever que:

$$\text{Rendimento} = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad (4.3.3)$$

Já na questão de número 3 as opiniões foram unânimes, todos acharam que podemos sim, transformar energia mecânica (trabalho) em calor, e que tanto em um sentido como no outro a conversão de energia não se dará de maneira integral. Esta opinião está em parte correta, pois podemos transformar trabalho em calor, lembrando que as forças dissipativas retiram energia mecânica de um sistema transformando-a em calor. Porém vê-se a necessidade de introdução da 2ª lei da Termodinâmica para uma correção quanto a conversão ser integral em ambos os sentidos de transformação.

2ª Lei da Termodinâmica:

Esta lei pode ser enunciada basicamente de duas formas, uma em termos de energia que é a seguinte:

É impossível para qualquer sistema sofrer um processo no qual ele absorva calor de um reservatório a uma dada temperatura e converter esse calor completamente em trabalho mecânico, de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao inicial. [Young, 2006].

A outra forma na qual podemos enunciar esta lei é em termos de entropia. A entropia, basicamente, é uma grandeza associada à desordem de um sistema, quando a desordem de um sistema aumenta a entropia do sistema também aumenta e quando a desordem de um sistema diminui, sua entropia também diminui. Só que a segunda lei da Termodinâmica diz o seguinte:

Em qualquer transformada ocorrida em um sistema isolado, a variação da entropia é sempre positiva ou nula. [Gaspar, 2000]

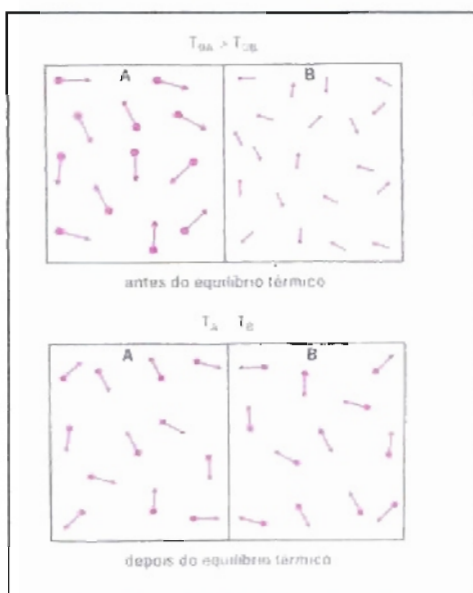


Figura 18. Antes do equilíbrio, as moléculas rápidas estão no bloco A e as lentas no bloco B; as coisas estão em ordem. Depois do equilíbrio térmico, não há mais distinção entre moléculas rápidas ou lentas, a desordem aumentou. [Gaspar, 2000]

É lógico que ambas as formas se equivalem, no sentido que em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem e o restabelecimento da ordem só é possível se houver dispêndio de energia. Por isso, o calor nunca passa

espontaneamente de um corpo de menor temperatura para um de maior temperatura, já que a tendência ao equilíbrio térmico está de acordo com a tendência natural de aumento da entropia. Sendo assim, uma fonte térmica sempre perderá calor para o meio ambiente já que se encontra a uma temperatura maior que este.

Por fim, na questão 4 tivemos novamente as opiniões bem divididas, alguns achando que o calor só pode ser transformado e aproveitado sob a forma de energia mecânica e outros dizendo que não, que podemos aproveitar o calor sobre outras formas de energia. Estes, porém, não souberam responder, onde o calor pode ser convertido numa forma de energia que não seja mecânica.

Bom, mais uma vez, caberia colocar que energia é uma grandeza cuja quantidade total no universo permanece constante e que pode se apresentar sob diversas formas, podendo estas formas ou tipos, se transformarem entre si. Se tivermos a transformação de calor em trabalho, nada nos impede de transformarmos esse trabalho em outra forma de energia, tal como a energia elétrica. Um exemplo bem prático de onde temos o aproveitamento do calor em outra forma de energia que não seja a mecânica é nas usinas termelétricas, onde em uma das etapas de transformação de energia, o calor liberado na queima do carvão mineral é convertido efetivamente em energia elétrica.

4. 4 TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA QUÍMICA EM ELÉTRICA

Este tipo de transformação também se encontra muito presente em nosso cotidiano, ao utilizarmos uma pilha, uma bateria ou de uma maneira mais ampla, ao queimarmos carvão para obter energia elétrica, tal como acontece em uma termelétrica, o que estamos fazendo é converter a energia química da matéria em energia elétrica.

Procedimento experimental:

Regule a voltagem da fonte para 5V e ligue-a. Evidencie a reação de eletrólise, pela formação de gás.



Figura 19. Eletrólise.

A atividade escolhida para se trabalhar este tópico é uma eletrólise, a qual mostra ao aluno a conversão de energia elétrica em energia química, processo reverso ao de uma pilha, onde temos energia química se transformando em elétrica. Aos alunos foram exibidas as seguintes perguntas e obtidas as respectivas respostas:

Avaliação de conhecimentos prévios:

- 1) Sabe-se que um radinho de pilhas ou uma lanterna, por exemplo, necessitam de energia elétrica para funcionar. De onde esta energia é proveniente e sob que forma se encontra na origem?

- das pilhas ou baterias.

2) Nas usinas termelétricas, a queima do carvão mineral libera calor que por fim será convertido em energia elétrica. Se um tipo de energia como o calor é liberado, é por que este proveio de outra forma de energia, já que *a energia não pode ser criada nem destruída, mas sim convertida de uma forma em outra*. Que tipo de energia potencial possui o carvão mineral? Como ocorre o processo de transformação deste tipo de energia em energia elétrica na usina?

- Os alunos não conseguiram concretizar respostas.

3) Sabendo que os processos de eletrólise e pilha trabalham com as transformações entre energia química e energia elétrica. Diga basicamente como eles ocorrem? Qual a principal diferença física entre esses processos?

- A partir de eletrodos e solução eletrolítica;
- Corrente elétrica entre pólos positivos e negativos.

Comentários:

Todos os alunos sabem que a energia elétrica utilizada pelo radinho de pilhas e pela lanterna é proveniente das pilhas ou baterias utilizadas nestes objetos. Porém, não souberam responder que tipo de energia as baterias e as pilhas possuem. Valeria a pena colocar *a priori*, que as pilhas e baterias são dispositivos constituídos de elementos e/ou compostos químicos, tais como Zinco, Cobre, Níquel, Cádmio, Ácido Sulfúrico, Sulfato de Cobre, Sulfato de Zinco entre outros. Sendo assim, a energia elétrica é proveniente da energia química liberada nas reações destas substâncias.

Primeiramente, para a segunda questão, comentaríamos algo semelhante àquilo já dito acima, no entanto reforçando a idéia. Toda matéria orgânica e inorgânica é constituída de átomos ou moléculas que interagem entre si por intermédio das ligações entre átomos (covalentes, iônica e metálica) e das ligações intermoleculares (forças de Van der Waals e ligações tipo hidrogênio). Estas interações formam um potencial energético ao qual está

associada aquilo que se chama de energia potencial química, que é liberada dentre outros processos, a partir da combustão, como no caso da queima do carvão mineral.

O processo numa termelétrica se dá em etapas, e basicamente da seguinte forma:

Numa usina termelétrica há a queima de carvão mineral para o aquecimento de uma caldeira, o vapor produzido na caldeira se expande nos injetores e palhetas da turbina, transformando energia térmica em energia mecânica, essa etapa tem um baixo rendimento.

Esta energia mecânica disponível na saída da turbina é usada para acionar o gerador elétrico o qual, por sua vez, converte uma grande proporção (alto rendimento) da energia mecânica que recebe, em energia elétrica. Certa quantidade dessa energia elétrica volta a se transformar em calor nos fios, barras-gerais, transformadores e no sistema de transmissão. Finalmente, a energia elétrica restante é aproveitada para fazer funcionar motores, acender lâmpadas e acionar máquinas elétricas. Em última análise temos a conversão de energia química do carvão mineral em energia elétrica. [texto adaptado de www.feiradeciencias.com.br]

Na questão de número 3, aqueles que formalizaram respostas, indicaram apenas que nesses processos ou que neles há passagem de corrente elétrica entre pólos positivos e negativos, e não como uma eletrólise ou uma pilha funciona de fato, muito menos responderam, qual a principal diferença física entre os dois, o que já era mais ou menos esperado devido ao certo grau de dificuldade da pergunta.

Faremos então, comentários sobre como esses processos funcionam:

A eletrólise é um processo eletroquímico caracterizado pela ocorrência de reações de oxidação-redução em uma solução condutora, estabelecendo-se uma diferença de potencial elétrico entre dois (ou mais) eletrodos mergulhados nessa solução. Vale lembrar que a denominação solução eletrolítica é empregada para designar qualquer solução aquosa condutora de eletricidade. Além de sua larga aplicação industrial, a eletrólise se revela bastante adequada e interessante para demonstrações em feiras de ciências, pois não requer

montagens complicadas e pode ser observada visualmente (junto aos eletrodos) enquanto ocorre.

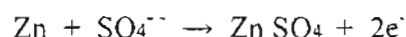
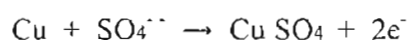
No anodo ocorrem os processo de oxidação (perda de elétrons) e no catodo ocorrem os processo de redução (ganho de elétrons). [texto adaptado de [www. feiradeciências. com. br](http://www.feiradeciências.com.br)]. Por exemplo, as reações que ocorrem em uma eletrólise feita com solução de cloreto de sódio(NaCl) são:

ANODO: oxidação; $2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Cl}_{2(\text{g})} + 2\text{e}^-$ (pólo positivo)

CATODO: redução; $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}_{(\text{s})}$ (pólo negativo)

Em suma, temos uma fonte de alimentação, ligada por meio de um circuito externo entre eletrodos “bombeando” os elétrons em direção ao catodo, ou seja, energia elétrica sendo utilizada com a finalidade de formar compostos que armazenam energia química.

De um modo geral, a pilha é o sistema constituído por dois condutores parcialmente submersos numa solução eletrolítica. A primeira pilha construída continha cobre e zinco como condutores e uma solução eletrolítica de ácido sulfúrico e foi construída por Alessandro Volta. Neste caso, tanto o cobre quanto zinco reagem com o radical sulfato (SO_4^{2-}), presente na solução eletrolítica, de acordo com as reações:



Os elétrons assim liberados se distribuem sobre as placas de cobre e de zinco, ficando ambas com carga negativa. Acontece que a velocidade da reação com o zinco é bem maior do que com o cobre, logo, depois de um mesmo intervalo de tempo, a placa de zinco terá mais elétrons que a placa de cobre.

A experiência mostra que, ao ligarmos as duas placas por um fio metálico, teremos a passagem de elétrons da placa de zinco para a placa de cobre. Isto equivale a dizer que passa uma corrente convencional da placa de cobre para a placa de zinco, ou seja, o potencial elétrico da placa de cobre é maior (pólo positivo) que o da placa de zinco (pólo

negativo). A maior ddp que se pode conseguir com a pilha de Volta é algo em torno de 1 volt. O valor da pilha de Volta é apenas histórico.

A pilha seca, tão usada em nosso cotidiano, é uma modificação da chamada pilha de Leclanché. O pólo positivo é um bastão de carvão e o negativo é um tubo de zinco, dispostos coaxialmente e em lados opostos da pilha. A solução eletrolítica é de cloreto de amônio. Um absorvente adequado transforma a solução numa pasta (a pilha não é realmente seca). O bastão de carvão (polo +) é envolto em bióxido de manganês para evitar a polarização da pilha. A ddp máxima que pode ser conseguida entre os pólos de uma pilha seca é 1,5 volts.

Em resumo, nas pilhas nós temos a energia química da liberação dos elétrons gerando a energia elétrica que está associada a ddp estabelecida.

Como podemos observar acima, a pilha é basicamente, o processo inverso de uma eletrólise, ou seja, enquanto naquela temos energia química sendo aproveitada para gerar energia elétrica, nesta temos energia elétrica sendo aproveitada para armazenar energia sob forma química. No entanto, não é essa a principal diferença física entre os dois processos. Esta se dá pela espontaneidade ou não com a qual a pilha e a eletrólise ocorrem. A pilha é um processo espontâneo que ocorre sem dispêndio de energia, seguindo a 2ª lei da termodinâmica já a eletrólise é um processo “forçado” que necessita de um gasto de energia para acontecer. [Gonçalves, 1978]

4. 5 TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA EM ENERGIA MECÂNICA

Antes de qualquer coisa, é necessário fazer algumas colocações sobre esta forma de energia alternativa, renovável e que não oferece riscos ao meio ambiente. A energia eólica é a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento) e seu aproveitamento se faz por meio da conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores. A energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um

século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial. [texto adaptado de [www. aneel. gov. br](http://www.aneel.gov.br)]

Procedimento Experimental:

O cata-vento construído pode ser movimentado por simples sopros, que ao girarem o cata-vento, possibilitam um movimento de ascensão ao objeto no interior das garrafas.



Figura 20.Cata-vento.

Avaliação de conhecimentos prévios:

- 1) Quais atividades podem ser desenvolvidas com o aproveitamento da energia eólica hoje em dia?
 - Utilização em moinhos (bombeamento de água, moagem de grãos), geração de energia elétrica.
- 2) Quais as vantagens e desvantagens para a obtenção de energia elétrica a partir da energia dos ventos?
 - Abastecimento relativamente grande, custo elevado;
 - Não polui, requer equipamentos modernos (dispendioso).
- 3) Será que conseguiríamos transformar toda energia dos ventos em energia mecânica ou elétrica? De que fatores, depende a potência de uma turbina eólica?

- Não, haverá perdas na conversão. Força com que o vento chega na turbina;
- Não, haverá perdas na conversão. Do número de pás da turbina.

Comentários:

A resposta dada na primeira questão mostra que os alunos já trazem consigo uma boa noção sobre a utilização da energia eólica. Tal conhecimento pode ser devido ao fato de ultimamente, ter se falado bastante na mídia sobre formas de energias alternativas, renováveis e que não degradam o meio ambiente.

A mesma impressão é deixada na questão 2, quando percebemos que os alunos têm a idéia de que aproveitamento da energia eólica sob a forma de energia elétrica, não polui o meio ambiente e tem um custo de instalação e manutenção elevados, só a colocação de que o abastecimento de energia elétrica gerada a partir da eólica é grande, é que não está de acordo com a realidade do processo. Cabe apenas acrescentar alguns pontos a mais, somente por questões de enriquecimento cultural dos alunos, são estes:

Vantagens: Pode ser utilizada para o fornecimento de energia para pequenas populações onde não há um acesso de energia direto e também não há necessidade de grandes investimentos. Esta última vantagem pode ser tirada por pessoas que queiram montar um módulo de energia próprio ao redor de suas casas, sem que precisem se filiar a empresas de distribuição de energia.

Desvantagens: O barulho provocado que não é muito intenso, se o módulo for freqüentemente vistoriado, a área ocupada que deve ser específica (sem muitas elevações e civilizações por perto), e principalmente que hoje como esta tecnologia não está totalmente desenvolvida, o seu custo ainda é um pouco elevado, de modo que é muito difícil uma população ter o seu próprio fornecimento de energia elétrica gerada por meios eólicos e também que seu aproveitamento ainda não é satisfatoriamente elevado, entretanto esses entraves podem ser superados com um maior desenvolvimento desta tecnologia. [texto adaptado de www.fem.unicamp.br]

Por fim, na terceira questão, notamos que foi unânime a colocação de que o processo de transformação de energia eólica em elétrica se dá com perda energética, haja

vista tudo que já foi trabalhado sobre rendimentos e retirada de energia de um sistema pela realização de trabalho das forças dissipativas. No entanto, sobre que fatores dependem a potência de uma turbina eólica, a resposta dos alunos foi equivocada, falaremos então de forma sucinta, sobre o que influencia esta potência.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{Ec}{\Delta t} \quad (4.5.1), \text{ onde } Ec \text{ é a energia cinética de translação do vento.}$$

$P = \frac{mv^2}{2\Delta t}$ (4.5.2), onde m é a massa de ar e v é a velocidade com que o vento chega na turbina e Δt é o intervalo de tempo que este leva para atravessá-la.

$$P = \frac{\rho A v^3}{2} \quad (4.5.3), \text{ onde } \rho \text{ é a densidade do ar } A \text{ é a área varrida pelas pás da turbina.}$$

Porém, devido as perdas e a aerodinâmica das turbinas, esta potência não é integralmente convertida em energia mecânica que por sua vez, será transformada em energia elétrica. Existe o chamado coeficiente de potência da turbina (C_p), este coeficiente representa a eficiência aerodinâmica da turbina e mostra o quanto de energia do vento a turbina é capaz de converter em energia mecânica, para cada velocidade de vento. Logo, teremos:

$$P = \frac{C_p \rho A v^3}{2} \quad (4.5.4)$$

Ou seja, vemos a partir da equação (4.5.4) que a potência de conversão de energia eólica em energia mecânica de uma turbina não depende do número de pás da turbina e sim da área varrida por estas, como também dos outros fatores já explicados acima.

4. 6 TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

Esta é mais uma forma de energia alternativa, da qual se tem tirado muito proveito ultimamente. Sabe-se que hoje em dia, a energia solar pode ser transformada direta ou indiretamente em energia térmica, mecânica, elétrica e química. As atividades práticas a serem trabalhadas neste tópico possuem características distintas. A primeira, mais expositiva, mostra aos alunos como funciona um tipo de dispositivo que converte energia solar em energia térmica, a chamada estufa, e em cima disso, foram feitos alguns comentários complementares, tais como, o fato de que o interior de uma estufa pode subir a temperaturas superiores aos 100 °C e então esse aquecimento, pode ser aproveitado para esquentar água, ar, dentre outras substâncias fluidas. Além disso, utilizamos um aquecedor análogo ao solar, a fim de comprovar na prática que a luz pode servir para esquentar água, por exemplo. Ambas as atividades estão respectivamente dispostas a seguir:

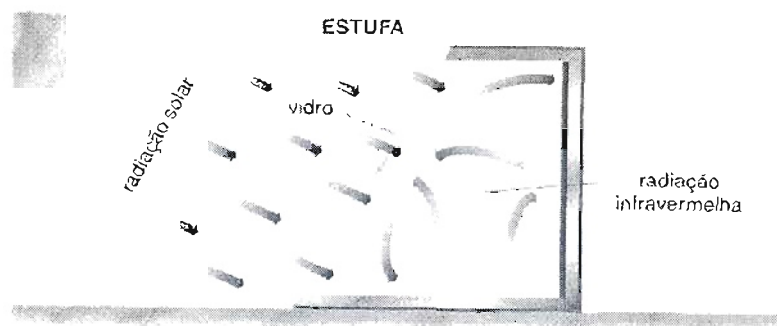


Figura 19. A estufa baseia-se na propriedade do vidro de transmitir a radiação solar e reter a radiação térmica (infravermelha). [Mourão, 2001]

As estufas, como o próprio nome indica, utilizam o chamado efeito estufa, o qual consiste na retenção de radiação térmica pelos gases da atmosfera terrestre, fazendo com que a Terra se mantenha aquecida (estufa natural). Nas estufas construídas pelo homem (artificiais), a radiação solar (luz visível e infravermelha de até 3 micrômetros) atravessa as paredes de vidro da estufa. Uma vez dentro da estufa, parte da radiação solar é refletida e atravessa novamente suas paredes de vidro, enquanto que a outra parcela da radiação solar é absorvida pelo fundo preto da estufa, que tem assim, sua temperatura elevada e emite radiação térmica (infravermelha) que não consegue ser transmitida através do vidro,

ficando dessa forma retida no interior da estufa contribuindo para o aumento da temperatura interna. [Mourão, 2001]

O aquecedor:

Consiste basicamente em um dispositivo por onde a água, proveniente de um reservatório elevado, passa por uma serpentina de metal onde recebe energia luminosa de duas lâmpadas incandescentes, sendo então depositada em um outro reservatório disposto mais abaixo em relação ao primeiro. Pode-se verificar, então, a variação de temperatura sofrida pela água ao passar de um reservatório para o outro.



Figura 22. Aquecedor que utiliza energia luminosa de forma análoga aos aquecedores solares.

Procedimento experimental:

Uma das garrafas PET é colocada sobre o suporte. Com o controle do soro fechado colocamos água nesta garrafa até o gargalo. Anotamos a temperatura da água desta garrafa. Abrimos os dois controles de soro para que a água escorra da garrafa mais alta para a mais baixa. À medida que a água vai passando pela serpentina aquecida pelas lâmpadas (luz solar) vai esquentando. Depois de algum tempo a garrafa (2) estará quase cheia e a garrafa (1) quase vazia. Ao verificarmos a temperatura da garrafa (2) notaremos que estará mais quente.

Podemos repetir o experimento invertendo as posições das garrafas. O fluxo de água inverterá e continuará o aquecimento da água. A temperatura final que pode ser atingida dependerá da troca de calor com o meio ambiente.

Avaliação de conhecimentos prévios:

1) Em que, o aquecimento promovido por uma estufa ou por um aquecedor solar pode nos ser útil?

- Cultivo de plantas e criação de animais que exijam certas temperaturas;
- Obter água aquecida.

2) Você saberia dizer quais são as vantagens e desvantagens do aproveitamento da energia solar?

- Baixo custo;
- Fonte que irá se esgotar;
- Aproveitamento eficiente.

3) Anteriormente, comentou-se que a energia solar pode ser transformada em energia mecânica e elétrica. Você saberia explicar o funcionamento de algum dispositivo que converte energia solar em mecânica ou em elétrica?

- Nenhuma resposta foi concretizada pelos alunos.

Comentários:

A análise das respostas dadas na primeira questão mostra que os alunos têm uma breve noção do proveito que se pode tirar do aquecimento oferecido por uma estufa ou aquecedor de água como lhes foi mostrado. Seria interessante, no momento, acrescentar o funcionamento de alguns mecanismos realmente empregados nos processos de aproveitamento da energia solar.



Figura 23. Aquecedor de água empregado em residências [Mourão, 2001]

A água aquecida por um coletor solar ascende até um tanque de armazenamento. Para utilizar água quente num banheiro ou para outros fins. No sistema da figura 21, a água aquecida num coletor sobe a um tanque de armazenamento. Em seu lugar chega a água mais fria do fundo do tanque. Para utilizar a água do tanque de armazenamento adiciona-se água fria ao sistema, saindo então, a mesma quantidade de água quente do tanque.

Os aquecedores podem elevar a temperatura da água em até 150 °C. A temperatura da água ou do vapor depende da insolação da superfície seletiva, da quantidade de água aquecida e, naturalmente, das condições meteorológicas. [Mourão, 2001]

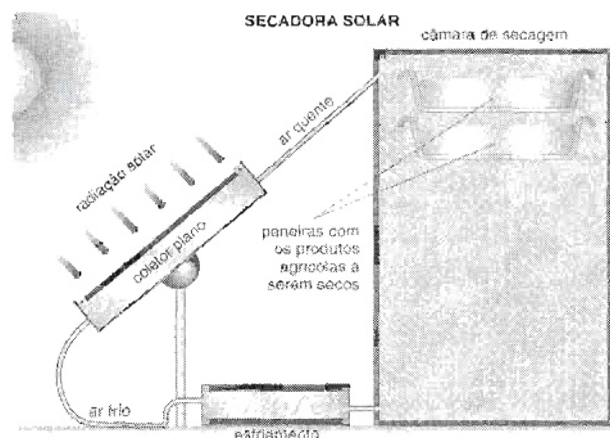


Figura 24. Secadora Solar [Mourão, 2001]

Com um dispositivo destinado a desidratar diferentes produtos vegetais, a secadora tem a função de eliminar a água dessas substâncias. Uma secadora consiste em um aquecedor de água colocado em uma câmara fechada, na qual são dispostos os produtos a serem desidratados. Nas grandes secadoras existem vários aquecedores de ar. Eles podem estar conectados em paralelo (para grande quantidade de ar) ou em série (para menor quantidade de ar, em alta temperatura).

Os produtos são dispostos numa peneira na parte superior da câmara de secagem. O ar quente sobe, recebe a umidade dos produtos, se esfria e desce. Sua umidade (ou seja, a quantidade de vapor em 1 cm^3 de ar) cresce até que o vapor começa a se condensar. Um esfriamento adicional ajuda a condensação da água. A água que se forma é jogada para fora. O ar frio entra de novo no aquecedor de ar, sua umidade relativa decresce e o ar quente entra na câmara de secagem para receber um novo vapor d'água. O processo se reproduz automaticamente sem intervenção humana.

A secagem solar é utilizada em países como EUA e Austrália, para secar frutas, trigo, amendoim, milho etc. [Mourão, 2001]

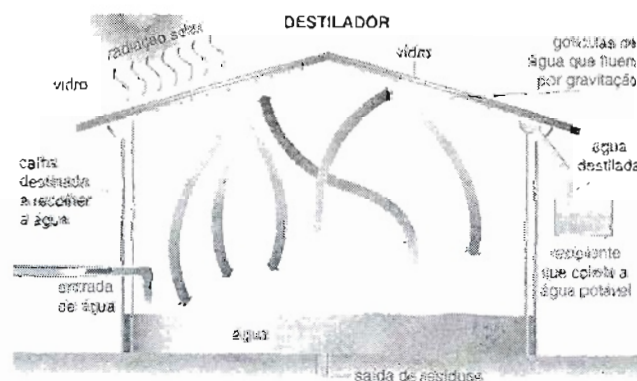


Figura 25. Destilador Solar [Mourão, 2001]

Uma outra utilização do efeito estufa encontra-se no chamado destilador solar. A natureza fornece água potável por meio da evaporação dos oceanos. A produção de água potável em pequena escala é uma simulação da natureza.

No interior da estufa ou destilador, a temperatura é mais elevada que no exterior. O vapor d'água se condensa em forma de gota no teto de vidro. Esse teto é construído com uma inclinação de 12° , o que permite que as gotas que nele se formam fluam para as

canaletas por efeito gravitacional. Se a inclinação do teto for menor, as gotas caem no fundo e se misturam com a água suja. As paredes e o fundo do destilador são pretos para absorver bem a radiação solar.

A produção de água potável é ilimitada em quantidade, mas depende da radiação solar. Durante a noite ou durante dias nublados a produção pára. Por outro lado, o consumo de água potável é quase contínuo. Esse método é utilizado na América do Sul há mais de 100 anos e em países do sudeste asiático, como Sri Lanka. [Mourão, 2001]

Na segunda questão, verificamos que das respostas emitidas pelos alunos, uma delas está de acordo com as vantagens oferecidas pela energia solar (aproveitamento eficiente) e a outra apontada como vantagem está incorreta, que é o baixo custo de sua implantação. Como desvantagem, apontou-se, fonte que irá se esgotar, algo que não incomoda a humanidade, pois para esta, o Sol é uma fonte de luz quase eterna, haja vista o tempo pelo qual ainda emitirá radiação. Abaixo, citamos e comentamos algumas vantagens e desvantagens do aproveitamento da energia solar.

As vantagens:

- Qualidade e quantidade, pois com boa eficácia, pode se transformar facilmente em outras formas de energia. Além disso, a Terra recebe 180000 TW. 20000 vezes mais do que a quantidade que usamos hoje;
- Reservas, já que as reservas de hidrogênio do Sol são suficientes para liberar a radiação para mais de 10 bilhões de anos futuros;
- Energia pura, não produz poluição química ou radioativa;
- É grátis, pela energia solar não se paga;
- Acessibilidade, não exige escavações em minas profundas e nem prospecção, como nos casos do carvão e do petróleo respectivamente. [Mourão, 2001]

As desvantagens:

- Interrupção diária, já que seu fornecimento cessa todas as noites;
- Dependência meteorológica, pois em dias de chuva ou de céu nublado a quantidade de radiação solar que chega até nós se reduz;

- Custo relativamente alto, pois para se captar mais energia solar, precisa-se utilizar grandes superfícies. Nosso país recebe uma energia de 2500 a 3000 kWh por metro quadrado em um ano. O preço dessa energia representa 5000 reais. [Mourão, 2001]

Na terceira questão, não obtivemos respostas concretas dos alunos, por isso, achamos melhor explicarmos dois processos, um para a conversão de energia solar em mecânica e outra para a conversão em energia elétrica. Vejamos:

O motor solar (transformando energia solar em energia mecânica):

O motor solar consiste em duas partes, que estão a diferentes temperaturas: o evaporador ou caldeira (parte quente) e o esfriador (parte fria). O evaporador recebe energia térmica e o esfriador perde calor. O aquecimento flui da parte quente para a parte fria e uma fração dessa energia térmica se transforma em energia mecânica. No motor solar, o evaporador recebe a energia térmica necessária de um coletor parabólico ou focalizador. Uma aplicação do motor solar é a chamada bomba solar ilustrada abaixo.

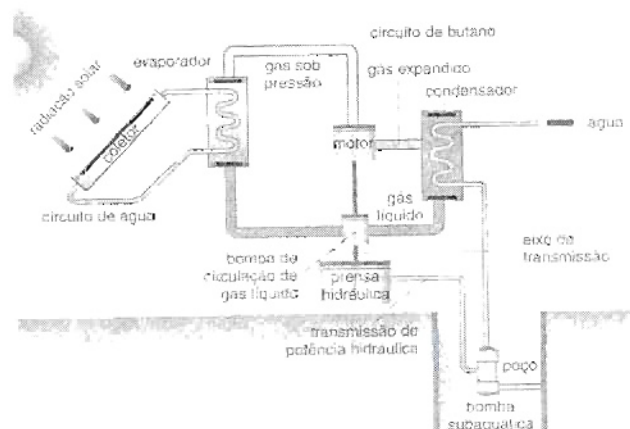


Figura 26. Bomba Solar [Mourão, 2001]

Na bomba solar, um fluido transporta o aquecimento desde o evaporador até a turbina e o condensador. Como fluido utiliza-se o freon, o propano, o amoníaco dentre outros. Para aquecer o evaporador usa-se água fria bombeada desde o fosso. A água fria passa por uma serpentina, ou seja, uma tubulação situada dentro do condensador, que

remove ou absorve o calor do condensador e sobe depois para uma cisterna. [Mourão, 2001]

Célula Solar (transformando energia solar em energia elétrica):

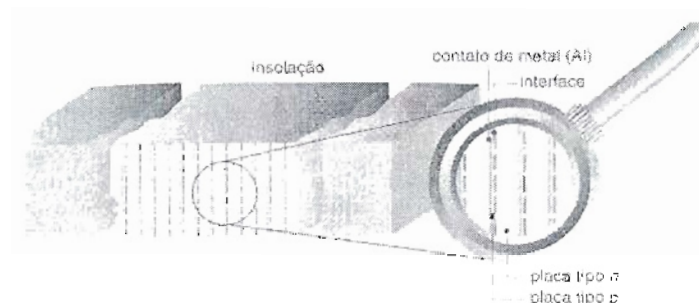


Figura 27. Célula Solar [Mourão, 2001]

As células solares absorvem fótons (pacotes de energia) da radiação solar e separam elétrons e cargas positivas (buracos positivos). Tal fenômeno se chama efeito fotoelétrico.

Uma célula fotovoltaica consiste em duas placas delgadas de silício. Uma dessas placas se denomina *n* e a outra *p*. A placa *n* é um cristal de silício no qual alguns átomos tetravalentes (4 elétrons na última camada) de silício são substituídos por átomos de arsênio ou fósforo pentavalentes (5 elétrons na última camada).

Um cristal de silício contaminado por átomos de arsênio contém elétrons livres, portadores de carga negativa. O silício de tipo *n* é de carga negativa e móvel com elétrons livres, se o cristal de silício se contamina com átomos de boro ou gálio (ou outros átomos trivalentes), obtém-se silício de tipo *p* que contém buracos ou lacunas positivas livres. Um elétron vizinho se desloca para o buraco e em seu lugar se produz outro buraco positivo. Ao se deslocar dessa forma, os buracos transmitem carga positiva e, assim teremos a geração de corrente elétrica. Esses dois tipos de silício, quando postos em contato, produzem uma interface chamada de *junção p-n*. Nessa junção se misturam elétrons livres e buracos livres. Os elétrons livres de silício *n* entram no silício *p* e formam um dipolo que impede os elétrons restantes de se misturarem com os buracos no silício *p*. O movimento dos elétrons produz uma corrente elétrica de, aproximadamente, 25 mA por 0,5 volt. [Mourão, 2001]

4. 7 TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR

A utilização desta forma de energia, talvez seja a mais polêmica e ao mesmo tempo curiosa que existe. Para a energia nuclear, buscou-se trabalhar, assim como na solar, de maneira mais expositiva. Aqui, foram apresentados aos alunos dois textos, o primeiro versa sobre acidentes nucleares e o segundo faz referência ao lixo atômico.

Ambos estão respectivamente postados abaixo, junto às perguntas feitas aos alunos após a leitura dos textos.

Texto 1: Acidentes Nucleares

Ao inventar o automóvel, o homem também inventou o acidente de automóvel. O que significa esta informação? Que devemos voltar a ser andarilhos? Não seria uma tolice. Significa, isto sim, que não acreditar cegamente na máquina e no homem que a controla é, no mínimo, uma atitude progressista. Toda norma de segurança é, nas entrelinhas, um apelo de saudável desconfiança.

Usinas nucleares não são como carros; não têm freios ou chaves de ignição, não podem ser facilmente “paradas” e “desligadas”. Por isso, para que desastres sejam evitados, elas devem estar cercadas de todos os cuidados possíveis. Infelizmente, nem sempre as precauções adotadas são suficientes.

Uma das causas mais comuns de acidentes em usinas atômicas é uma falha no sistema de refrigeração. Quando isso acontece, a temperatura no reator atinge níveis elevadíssimos, que podem levar a fusão de seu núcleo. O acidente nuclear mais famoso da história da humanidade até o presente dia, o de Chernobyl em 1986, foi causado por uma falha na refrigeração de um dos reatores por falta de energia. [texto adaptado de Goldemberg, 1998]

Texto 2: Limitações para gerar energia elétrica

O potencial hidrelétrico remanescente (excluindo a bacia Amazônica) não é muito grande, sobretudo quando se considera que o consumo de eletricidade cresce cerca de 10% ao ano, ou seja, o consumo dobra a cada sete anos. Somando-se a isso, temos a constatação de que o potencial dos afluentes da margem direita do Amazonas está muito distante de ser utilizável. [parágrafo adaptado de Goldemberg, 1998]

Há seis anos atrás, no ano de 2001, corremos o risco de sofrer “apagões” nas grandes cidades brasileiras. procedimento que seria tomado para economizar energia elétrica, devido a falta de potenciais hídricos na época. Isto mostra então, que não podemos ficar só na dependência de usinas hidrelétricas para a geração de energia elétrica em nível sustentável.

Avaliação de conhecimentos prévios:

- 1) A utilização da tecnologia nuclear engloba alguns riscos, como os de acidentes nas usinas e o problema do lixo atômico (dejetos formados a partir da desintegração do combustível de um reator nuclear), que não é de fácil eliminação. Será que é necessário ao Brasil a utilização da energia nuclear, mesmo tendo em vista os riscos que ela apresenta? Justifique.
 - Sim, é necessário, haja vista que o Brasil não consegue gerar, através de transformações energéticas menos nocivas ao meio ambiente, energia elétrica suficiente para suprir sua demanda de consumo.
- 2) Você saberia citar e comentar outras vantagens e desvantagens da utilização da energia nuclear?
 - Manutenção e produção com elevados custos financeiros;
 - Os altos impactos ambientais e o risco à saúde seres humanos, que podem ser causados pelo vazamento de radiação;

- A utilização da energia nuclear é necessária ao progresso de uma nação, pois é uma tecnologia diferenciada não dominada por quaisquer países.
- 3) Como ocorre basicamente, o processo de transformação de energia nuclear em energia elétrica?
- Nenhuma resposta foi concretizada pelos alunos.
- 4) Quando se houve falar, em enriquecimento de Urânio, o que vem a sua cabeça?
- Processo pelo qual, uma determinada quantidade de Urânio se torna mais rica, em termos energéticos;
 - Processo onde é aumentada, a capacidade do Urânio em gerar outras formas de energia.

Comentários:

Possivelmente baseados nos textos apresentados, os estudantes mostraram ao responder a primeira questão, que entendem a necessidade de se trabalhar com a energia nuclear no Brasil, apesar dos riscos inerentes a esta prática, haja vista o enorme potencial hídrico brasileiro, como também, outras formas alternativas para a obtenção de energia que não são bem exploradas.

Dividiremos a análise das respostas da segunda questão em duas partes:

Na primeira parte, comentaremos sobre aquilo que foi apontado como desvantagem à utilização da energia nuclear. Já na segunda parte, analisaremos o que foi apontado com sendo uma vantagem para sua utilização.

Os altos custos de manutenção e produção das usinas nucleares realmente existem, porém, se justificam por que o Brasil ainda não é auto-suficiente, no que diz respeito, a todo o desenvolvimento da tecnologia nuclear, ou seja, estamos pagando pelo aprendizado da tecnologia, além de todos os custos com manutenção e prevenção de acidentes serem absolutamente necessários e justificáveis.

O vazamento de radiação, assim como, os dejetos formados na desintegração do combustível nuclear (lixo atômico), podem causar graves impactos ambientais e à saúde dos seres humanos, sim. Aquele, deve ser bem prevenido (com a utilização de blindagens adequadas nos chamados vaso de contenção dos reatores nucleares) e estes, possuem frações reaproveitáveis que costumam ser armazenadas em piscinas dentro da própria usina, já a outra parte do lixo atômico é a que preocupa, pois jogá-la no oceano ou enterrá-la em recipientes blindados, como em geral se faz, não elimina de vez os riscos de contaminação, visto que a blindagem mais resistente sofre desgastes ao longo do tempo. Aí está uma grande questão a ser resolvida.

A utilização da tecnologia nuclear pode ajudar no processo de desenvolvimento de um país, já que não há progresso sem um grande potencial energético. No entanto, não necessariamente, a utilização da tecnologia nuclear está associada ao desenvolvimento econômico, haja vista a Índia, que é um país onde se tem reatores e bombas nucleares e nem por isso é uma grande potência. Países como Brasil, Irã e Índia contam com outras alternativas para a geração de energia, e por não explorá-las bem, se vêm obrigados a fazerem uso de processos nucleares.

Era de se esperar, que os alunos tivessem dificuldade de formular uma resposta para a questão três, por isso, faremos a colocação básica do processo pelo qual, se pode obter energia elétrica a partir de energia nuclear. Em primeiro lugar observe o esquema abaixo:

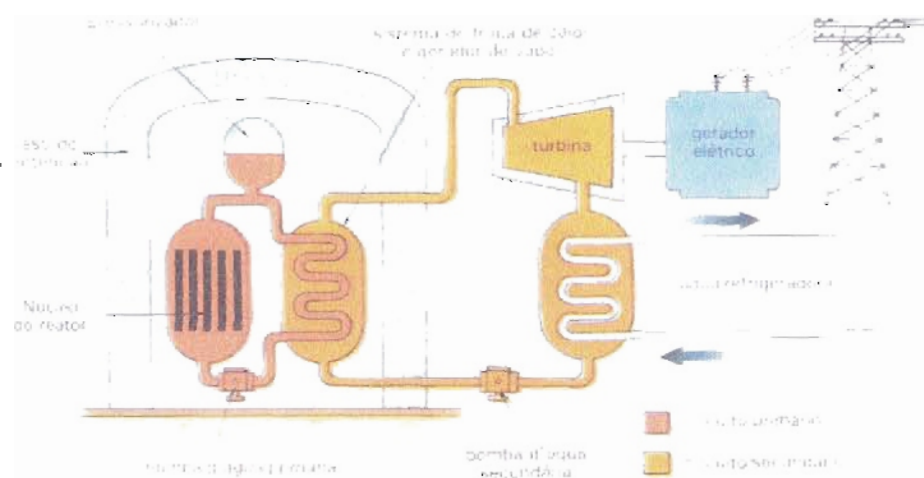


Figura 28. Esquema de um reator nuclear. [Goldemberg, 1998]

Note que o reator possui duas partes principais: uma encontra-se no interior do vaso de contenção e a outra está na parte de fora. O vaso de contenção é uma couraça feita de aço e concreto que envolve o núcleo do reator. O objetivo desse reator é acionar geradores de energia elétrica, que são movimentados através de vapor d'água sob pressão. Esse vapor é obtido pelo aquecimento da água de uma tubulação que se comunica com as turbinas dos geradores.

O calor necessário para o desencadeamento do processo é obtido no núcleo do reator, onde ocorrem reações de fissão nuclear.

É na câmara chamada de *sistema de troca de calor e gerador de vapor* que a água passa do circuito primário para o circuito secundário (observe o esquema acima) e é neste circuito que o calor é transportado para o exterior. A água então sai do vaso de contenção na forma de vapor e vai movimentar as turbinas dos geradores.

Cabe ainda mencionarmos, como ocorre o processo de fissão nuclear, visto que é a partir dele que se obtém energia suficiente para gerar vapor d'água.

A fissão nuclear pode ocorrer naturalmente em átomos de elementos químicos “pesados”, tais como, o U^{235} (urânio 235 que possui 92 prótons e 143 nêutrons), um dos isótopos naturais do urânio. No entanto, esse processo natural pode demorar milhões de anos.

Artificialmente, se consegue provocar a fissão do átomo de U^{235} “bombardeando-o” com nêutrons. Esse “bombardeamento” torna o átomo muito instável, mais do que ele já é naturalmente, fazendo com que ele se divida em dois outros átomos, por exemplo, estrôncio (38 prótons) e xenônio (54 prótons) ou um átomo de bário (56 prótons) e outro de criptônio (36 prótons), além da liberação de outros nêutrons que podem gerar a chamada reação em cadeia, através da qual um grande número de fissões nucleares pode ocorrer em um curto espaço de tempo, liberando uma enorme quantidade de energia.

Nos reatores nucleares essa reação em cadeia é controlada, diferentemente do que aconteça nas bombas nucleares, cuja enorme quantidade de energia liberada gera uma grandiosa explosão.

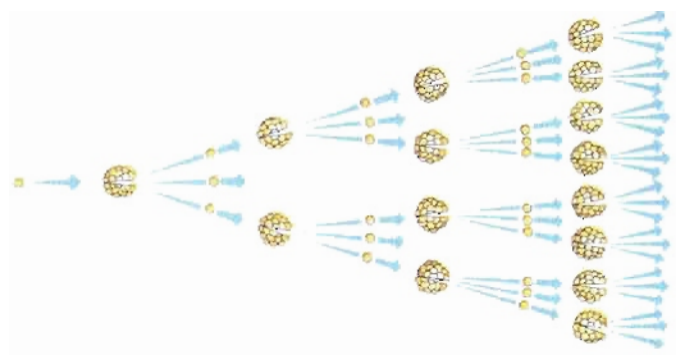


Figura 29. Reação em cadeia. [Goldemberg, 1998]



Figura 30. Cogumelo formado pela explosão de uma bomba nuclear. [Goldemberg, 1998]

Finalmente, explicaremos do que se trata o processo de enriquecimento de urânio, já que as idéias dos alunos sobre o assunto, estão muito vagas.

Enriquecer o urânio natural, é simplesmente obter uma porcentagem maior de U^{235} , o único isótopo natural do urânio capaz de sofrer fissão, uma vez que somente 0, 7% do urânio encontrado na natureza está sob essa forma.

Um dos métodos de enriquecimento consiste em “filtrar” o urânio através de membranas muito finas, sendo assim, o U^{235} mais leve, atravessa esse “coador” um pouco mais rápido que o U^{238} . Para se conseguir uma quantidade suficiente de combustível com

níveis satisfatórios de U^{235} , algo em torno de 3% do total da amostra, é preciso repetir este processo inúmeras vezes.

CAPÍTULO 5 – ATIVIDADE PROPOSTA

Apenas como simples forma de atividade prática deixaremos aqui uma proposta de avaliação. Os alunos deverão desenvolver uma máquina de efeitos encadeados, onde se possa verificar algum tipo de transformação de energia, por mais simples que este seja. (Esta atividade não foi desenvolvida por nossos alunos nesta primeira aplicação da metodologia).

A máquina deverá conter ainda, os dois tópicos listados a seguir:

- Três ou mais fases, ou seja, que encadeie três ou mais efeitos;
- Tenha, pelo menos, um motor em uma de suas fases, sendo este elétrico, a vapor ou de qualquer outro tipo.

Apenas como efeito ilustrativo, dispusemos a curiosa figura abaixo:



Figura 31. Encadeamento de efeitos que mostra em várias etapas a conservação de energia.

[Fernández, 1996]

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Ao fazermos uma análise final do trabalho desenvolvido, percebemos em primeira instância, que os estudantes ficam mais dispostos a assistirem as aulas de Física quando o professor se propõe a realizar uma atividade diferente daquela aula tradicional e simplesmente expositiva no quadro negro.

Concomitantemente, surge um maior interesse e uma maior curiosidade, por parte do aluno, em saber como e por que a natureza nos apresenta determinados comportamentos. Acrescentando-se a isso, uma interação constante entre alunos e professor e o fato do conteúdo a ser trabalhado estar inserido no universo de vida do corpo discente, temos a condição de observar uma aprendizagem espontânea, com um dado valor significativo e que fornece ao aluno reais possibilidades de aplicar seus conhecimentos no seu dia-a-dia.

Além disso, as capacidades investigativa e reflexiva, em cima de uma situação-problema, também se desenvolvem, haja vista algumas questões que foram levantadas, como por exemplo, uma reportagem sobre a possível instalação de uma usina que usa energia das ondas do mar para gerar energia elétrica no Ceará. [Bartoloti, 2006].

Esta questão surgiu, a partir do momento que o aluno trouxe para sala de aula um conhecimento prévio e compreendeu que seu país não pode abandonar programas de geração de energia que oferecem riscos ao meio ambiente, devido a alta demanda de consumo e a ineficácia nos processos de aproveitamento energético a partir de potenciais hídricos, principalmente, por que o Brasil apresenta um enorme potencial nessa área e o explora de maneira insuficiente.

As usinas chamadas de ondelétricas, seriam a princípio, uma excelente alternativas para nós brasileiros, aumentarmos o potencial de geração de energia, como também substituir outras formas de aproveitamento energético mais nocivas ao meio ambiente, tais como as usinas nucleares e termelétricas.

Porém, a principal barreira encontrada até hoje para a instalação de uma ondelétrica tem sido os altos custos. Para se ter uma idéia, gerar energia a partir das ondas marítimas é cerca de duas vezes mais caro que através das quedas d'água em uma usina hidrelétrica.

Por fim, julgamos terem sido satisfatórios e de boa valia os resultados obtidos com o desenvolvimento desta atividade extra-classe, em função dos seus objetivos.

Bibliografia:

- Borges, Antônio Tarciso e Gomes, Alessandro Damásio Trani, *Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Volume: 22, Número: 1, Ano: 2005
- Bortoloti, Marcelo, *Energia que vem da praia*, Superinteressante, Março, 2006.
- Coelho, Rafael Otto, *O que leva o aluno a gostar ou não da aula de Física?*, www.cefetrstche.br/~coelho/artigo_espec.pdf, 2001.
- Fernández, R. Gonzalo, Rábade. A. López e Alises, G. Borja, *1^{er}. Ciclo Tecnologia I*, Madrid, Grupo Anaya, 1996.
- Ferraz, Luíz, www.feiradeciencias.com.br, IF – USP.
- Gaspar, Alberto, *Física*, volume 1 e 2, São Paulo, Editora Ática, 2000.
- Goldemberg, José, *Energia Nuclear: Vale a pena?*, São Paulo, Editora Scipione, 1998.
- Gonçalves, Dalton, *Física, Eletricidade. Eletromagnetismo, Corrente alternada*, Rio de Janeiro, Ao livro técnico S. A. , 1978.
- Kawamura, Maria Regina Dubeux, Hosoume, Yassuko (IF-USP), *A contribuição da Física para um novo Ensino Médio* , Física na Escola, Volume: 4, Número: 2, Ano: 2003.
- Mourão, Ronaldo Rogério de Freitas, *Sol e Energia no terceiro milênio*, São Paulo, Editora Scipione, 2001.
- Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), portal.mec.gov.br, 2002.
- Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), portal.mec.gov.br, 1999.
- Ronan, Colin, *História Ilustrada da Ciência*, volume 1, Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 2001.
- Rothier, annoel, *Laboratório de Eletrônica Moderna*, IF – UFRJ, 2005.
- Sampaio, José Luiz e Calçada, Caio Sérgio, *Universo da Física*, volume 1, São Paulo, Atual editora, 2001.
- Santos, Wilma M. Soares, IF-UFRJ, Teoria cognitivista da aprendizagem significativa (David Ausubel), Fundamentos da psicodidática para o ensino de Física, 2005.

Venícus, Marcus, *Apostila de Mecânica Clássica I*, IF – UFRJ, 2005.

Vugman, Ney, *Apostila de História da Física*, IF – UFRJ, 2005.

www.centrorefeducacional.com.br/Vygotsky.html

Young, Hugh e Freedman, Roger, *Física II*, São Paulo, Pearson Addison Wesley, 2006.

www.if.ufrj.br/~ligia

[www.uff.br/gqi/ensino/disciplinas/givexp/eletrolise.pdf]