

CÉLULAS SOLARES: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL NO ENSINO DE ESTRUTURA ATÔMICA E LIGAÇÕES QUÍMICAS

Solar Cells: an experimental approach in teaching of atomic structure and chemical bonds

Elton Faria de Souza Lima [alchemistelton@hotmail.com]

Marciel Guimarães dos Santos [marciel.guimaraes@hotmail.com]

Gildiberto Mendonça de Oliveira [gil_mdo@hotmail.com]

Wesley Fernandes Vaz [wesleyfvaz@gmail.com]

Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí

Rod. Br 364, Km 192 n. 3800, Parque Industrial. Jataí - GO

Fausto Oliveira Carvalho [faustocarvalho@gmail.com]

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Jataí.

Rua Riachuelo, n. 2.090. Bairro Samuel Graham. Jataí - GO

Resumo

A realização de atividades experimentais contextualizadas no cotidiano do aluno pode ser uma ferramenta eficaz para despertar o interesse dos alunos e facilitar a aprendizagem de conteúdos de Química. Nesse sentido, este trabalho visou à montagem de uma célula solar caseira, utilizando-a como tema gerador para as discussões de fontes de energia renováveis, energia solar e seus impactos ambientais, como também proporcionar a compreensão dos conceitos de estrutura atômica e a sua relação com as teorias de ligação química e propriedades físicas e químicas dos materiais. A atividade foi realizada em uma Escola da Rede Estadual. O procedimento envolveu diálogo com os alunos sobre fontes de energia; construção da célula solar; realização de testes e discussão dos conceitos químicos abordados. Os resultados mostram que a prática experimental realizada se mostrou uma ferramenta alternativa de auxílio para facilitar a compreensão dos conceitos de estrutura atômica e ligações químicas.

Palavras-Chave: efeito fotovoltaico, célula solar, estrutura atômica.

Abstract

To perform experimental activities in the context of the students daily life can be an effective tool to arouse their interest and facilitate the learning of Chemistry content. In this sense, this work aimed to make up a homemade solar cell, using it as a theme generator for renewable energy sources discussions, solar energy and its environmental impacts, as well as provide an understanding of the atomic structure of concepts and their relationship with the theories of chemical bonding and physical and chemical properties of the materials. The activity was held in a state school. The procedure involved dialogue with students about energy sources; Construction of the solar cell; testing and discussion of chemical concepts addressed. The results show that the practical experiments carried out showed an alternative aid tool to facilitate understanding the concepts of atomic structure and chemical bonds.

Keywords: photovoltaic effect, solar cell, atomic structure.

Introdução

Os problemas encontrados em situações reais do cotidiano geralmente não são passíveis de serem abordados a partir de uma visão unilateral, sendo que o estudo das mesmas deve proporcionar a articulação de várias áreas do conhecimento. Conforme propõe Chassot (2008), é necessário buscar uma abordagem mais ampla transgredindo, assim, as fronteiras das disciplinas que formam a ciência.

Nesse sentido, a Química deve ser ensinada a partir de uma temática que releve os aspectos sócio-culturais, ambientais e econômicos no qual a mesma se insere expondo-a como construção humana, instrumento de interpretação da realidade. Vale ressaltar que a temática deve se originar nas relações dos homens com o mundo, a qual deve ser o ponto de partida para o processo de construção por descoberta (Freire, 1996). Por emergirem do saber popular, os temas geradores são extraídos da prática de vida dos educandos, substituem os conteúdos tradicionais e são buscados através da pesquisa do universo vocabular. Para Maldaner (1999),

Não se trata de negar a possibilidade de aprender o conteúdo específico de Química, o fazer químico, a capacidade técnica de fazer a ciência química avançar. Porém, aprender Química é muito mais do que isto. É compreender a química como ciência que recria a natureza, modifica-a e, com isso, o próprio homem (p. 290).

Para desenvolver essas capacidades nos alunos é necessário que os mesmos estejam interessados e se sintam motivados a aprender. O conteúdo deve fazer sentido para o aluno, e ele deve participar ativamente da aula, havendo espaço para que possa expor seus conhecimentos, dúvidas e interpretações, fugindo do tradicional modelo de ensino transmissão-recepção que ignora o conhecimento prévio dos alunos.

A experimentação funciona como uma ferramenta para despertar o interesse dos alunos nos mais variados níveis de escolarização devido ao seu caráter motivador e lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos (Giordan, 1999). É com esse ponto de vista que se compreende a prática experimental como parte importante do processo ensino-aprendizagem de ciências, pois se acredita que a experimentação contextualizada possa ser uma alternativa para atrair a atenção dos estudantes, por tornar mais significativa a aprendizagem de conceitos abstratos existentes na química, por meio do estudo de uma problemática existente na vida dos mesmos.

Ao fazer um experimento, o aluno deve buscar no conhecimento de ciência as respostas aos resultados obtidos. Porém, cabe ao professor intervir para que os conceitos de química sejam utilizados corretamente, e de forma a não criar nos alunos uma perspectiva distorcida da ciência e do saber científico.

Contudo, a realização de uma prática experimental não necessariamente denota indicar uma teoria como verdadeira ou falsa, mas sim contribuir para a problematização de conceitos que se deseja ensinar. É fundamental levar esse posicionamento às aulas experimentais capacitando os estudantes a romperem com o paradigma da visão dogmática de ciência (Hodson, 1982; De Jong, 1998; Gil-Pérez *et al.*, 2001).

Nesse ínterim, na busca pela redução dos impactos ambientais causados pelas tradicionais fontes de combustíveis fósseis, as energias renováveis aparecem não somente como solução para complementar as energias convencionais, mas para também responder de forma ecologicamente correta às demandas de populações mais distantes sem acesso à energia. A atual realidade do consumo de energia mundial apresenta uma necessidade cada vez maior de utilização de fontes renováveis de energia (Brasil, 2008).

O crescente interesse da sociedade por questões ligadas à proteção do meio ambiente, da preservação dos recursos energéticos e da procura de fontes menos poluentes, tem levado a uma

crescente utilização da energia solar como fonte alternativa de energia. A energia solar pode ser convertida em energia elétrica, tão vital para o funcionamento de equipamentos essenciais na vida contemporânea, por meio de um equipamento denominado célula fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos são cada vez mais comuns em nosso cotidiano e são empregados como fonte de energia para equipamentos eletroeletrônicos, tais como as calculadoras eletrônicas, relógios de pulso, satélites de comunicações, sistemas de telecomunicações, sistemas de bombeamento de água, sistemas de iluminação, dispositivos sensores, sistemas de segurança e vigilância remota etc. (Falcão, 2005; Gomes, 2009; Niedhardt, 2009; Pinheiro, 2010).

As células fotovoltaicas são construídas a partir de substâncias semicondutoras. Os semicondutores são sólidos cristalinos de condutividade intermediária entre condutores e isolantes. Em escala comercial, a maioria destes é fabricada de silício, devido a três fatores principais: baixa toxicidade, elevada abundância e possuir uma tecnologia consolidada devido sua ampla utilização na indústria da microeletrônica (Lee, 1999; Peixoto, 2001; Brasil, 2008).

Um átomo de Si tem 4 elétrons de valência, os quais para formar cristais do mesmo elemento dispõem-se simetricamente de tal forma que compartilham os seus elétrons com outros 4 átomos mediante ligações covalentes. A ligação covalente é um tipo de ligação química caracterizada pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre átomos, causando uma atração mútua entre eles, que mantêm a molécula resultante unida. Segundo a teoria de Lewis que é bastante útil para descrever qualitativamente a formação das ligações químicas, sobretudo para elementos leves, embora apresente várias exceções, os átomos tendem a compartilhar elétrons de maneira a buscar atingir a configuração eletrônica de gases nobres (Toma, 1997; Lee, 1999; Shriver & Atkins, 2006).

Contudo, quando se faz necessário discutir questões energéticas, geometrias ou aspectos de natureza espectroscópica, como é o caso da formação de corrente elétrica através do efeito fotovoltaico na célula solar de silício, torna-se necessário lançar mão de teorias quânticas que enfocam a ligação química em termos da combinação de orbitais. Esse tipo de abordagem exige o ensino do modelo quântico para o átomo, e considera que quando dois átomos se ligam, o compartilhamento eletrônico se dá pela combinação dos orbitais que estão interagindo (Chassot, 1996; Toma, 1997).

O uso de orbitais na descrição de estruturas, ligações e propriedades é generalizado nos cursos de química no ensino superior; contudo, a transposição para o ensino médio ainda requer cuidados. De fato, o aluno passará a ter necessidade de modelos quânticos (orbitais) quando a descrição dos compostos e materiais se basear na distribuição espacial dos átomos e elétrons e na dinâmica das transformações. Na teoria dos orbitais moleculares (TOM) dois orbitais atômicos podem representados pelas funções de onda A e B. O resultado dessa combinação é a formação de novos orbitais estendidos sobre os dois átomos, denominados orbitais moleculares (Toma, 1997; Shriver & Atkins, 2006).

De modo geral, um orbital molecular de uma molécula AB (isto é, AB) pode ser descrito por uma combinação linear (soma ou diferença) dos orbitais atômicos localizados em A e em B, respectivamente ($AB = C_aA \pm C_bB$). Ou seja, a teoria TOM considera que os orbitais atômicos (AOs) do nível de valência, deixam de existir quando a molécula se forma, sendo substituídos por um novo conjunto de níveis energéticos que correspondem a novas distribuições da nuvem eletrônica (densidade de probabilidade). A combinação dos orbitais atômicos dará origem a dois novos conjuntos de orbitais um de menor energia do que o AOs isolados denominado orbital molecular ligante (OML) e outro de maior energia do os AOs denominado orbital molecular antiligante (OMA) (Toma, 1997; Lee, 1999; Shriver & Atkins, 2006).

A combinação dos dois orbitais pode ocorrer em proporções variáveis, expressas pelos coeficientes C_a e C_b . Quando os orbitais são equivalentes, como é o caso dos orbitais $1s$ na molécula de H_2 , esses coeficientes são iguais, isto é, $C_a = C_b$. Esses coeficientes diferem cada vez mais à medida que cresce a diferença de energia entre os orbitais. Quando $C_a \gg C_b$, a participação do A é dominante e o orbital molecular AB se assemelha a A e vice-versa. Isso equivale a dizer que os elétrons não são compartilhados equitativamente, podendo ficar a maior parte do tempo em A ou em B, dependendo dos valores relativos de C_a e C_b . Isso está relacionado com a diferença de eletronegatividade entre os elementos (Toma, 1997; Shriver & Atkins, 2006).

Desta forma, como os átomos mais eletronegativos possuem orbitais em níveis energéticos mais baixos pode se afirmar que contribuem mais para formação do OML's e os átomos menos eletronegativos possuem orbitais atômicos em níveis energéticos mais elevados conseqüentemente contribuem para a formação dos OMA's. Como o OML formado possui menor energia do que os orbitais atômicos dos átomos isolados, seu preenchimento confere uma estabilização ao sistema. Quando colocamos elétrons nos OMA's, diminuímos essa estabilização. A combinação por soma (OML) leva a um reforço na densidade eletrônica entre os núcleos, de modo que os elétrons possam promover uma aproximação dos mesmos, resultando em uma ligação. Por outro lado, a combinação por diferença (OMA) desloca a densidade eletrônica da região internuclear para as extremidades opostas, deixando os núcleos atômicos expostos a uma interação fortemente repulsiva. A ocupação desse orbital por elétrons favorece a quebra da ligação (dissociação) (Lee, 1999; Shriver & Atkins, 2006).

A estabilidade de uma ligação segundo a TOM pode ser entendida a partir da ordem de ligação (b). Essa pode ser calculada para uma molécula segundo a fórmula $b=1/2(n-n^*)$. Nessa fórmula n representa o número de elétrons existentes em OML e n^* o número de elétrons existentes em OMA. As ordens de ligação em cristais de silício puro são tais que suas ligações covalentes podem ser quebradas por energias superiores a 1,1 eV, correspondentes ao poço de energia potencial do Si. Assim, os elétrons liberados mediante este processo podem ser acelerados na presença de campos elétricos no interior do cristal, e no seu lugar deixar "Buracos" de cargas positivas. Além disso, elétrons vizinhos podem deixar suas ligações pelo mesmo processo e ocupar estes "buracos", desta maneira, elétrons e "buracos" se movimentam através do cristal. Isto é chamado de Efeito Fotocondutivo (Greacen, 1991; Shriver & Atkins, 2006; Carvalho & Calvete, 2010).

Para se entender como os elétrons podem se movimentar no interior de um cristal de silício sobre ação da luz solar, pode-se utilizar uma abordagem ampliada da TOM para explicar as estruturas e propriedades de metais e semicondutores. Essa abordagem é conhecida como teoria das bandas. Na teoria das bandas, as propriedades elétricas dos condutores metálicos, dos semicondutores e dos isolantes são explicadas tratando-os como enormes moléculas e supondo que seus elétrons de valência ocupam orbitais moleculares que se espalham por todo o sólido. Os N orbitais atômicos dos átomos que constituem o sólido se combinam para formar N orbitais moleculares, metade deste enorme número de orbitais serão ligantes. A outra metade será antiligante (Atkins & Jones, 2006; Shriver & Atkins, 2006).

Os orbitais moleculares desses sólidos possuem energia próxima e se constituem em uma banda. A banda vazia ou incompleta de orbitais moleculares é conhecida como banda de condução (BC). A banda preenchida de elétrons é conhecida como banda de valência (BV). Nos metais BC e BV são muito próximas em energia e a passagem de elétrons de um nível para outro é livre, assim estes são bons condutores. Nos semicondutores há uma razoável diferença de energia entre BC e BV de forma que apenas poucos elétrons conseguem saltar de BC para BV, assim semicondutores possuem condutividade reduzida em relação aos metais (Lee, 1999; Shriver & Atkins, 2006).

Os isolantes possuem uma grande diferença de energia entre BC e BV, de forma que, é necessário fornecer grande quantidade de energia para que um 1 elétron salte de BV para BC. Esse

é o fator que torna os isolantes incapazes de conduzir eletricidade. Conhecendo-se os conceitos da condução elétrica em sólidos proposto pela teoria das bandas pode-se entender como o efeito fotovoltaico possibilita a formação de energia elétrica na célula solar de silício (Atkins & Jones, 2006; Shriver & Atkins, 2006).

O efeito fotovoltaico é a criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica correspondente num material, após a sua exposição à luz. Embora ele esteja diretamente relacionado com o efeito fotoelétrico, estes são processos distintos. No efeito fotoelétrico, os elétrons são ejetados da superfície de um material após exposição à radiação com energia suficiente. Por outro lado, no efeito fotovoltaico é diferente, pois os elétrons gerados são transferidos entre bandas diferentes (i.e., das bandas de valência para bandas de condução) dentro do próprio material, resultando no desenvolvimento de tensão elétrica entre dois eletrodos (Greacen, 1991; Lee, 1999; Silva *et al.*, 2004; Gomes, 2009; Carvalho & Calvete, 2010).

É importante ressaltar que o cristal de silício puro possui sua BV totalmente preenchida e sua BC vazia. Nessa condição ele é um isolante e não pode conduzir corrente elétrica apreciável, pois o intervalo de energia entre BC e BV é de 106 kJ mol^{-1} . Por isso apenas poucos elétrons podem ganhar energia térmica vibracional dos átomos em quantidade suficiente para serem promovidos de BV para BC a temperatura ambiente. Para melhorar a condutividade dos semicondutores de silício de uma maneira controlada, pode-se adicionar impurezas que atuam como agentes portadores de carga, processo conhecido como dopagem (Lee, 1999).

Se são introduzidas impurezas no Si cristalino puro, por exemplo Fósforo P, que tem 5 elétrons de valência, 4 deles estarão em ligação com átomos do Si do cristal e um ficará fracamente ligado. Este elétron, por efeitos térmicos ambientais, pode ser libertado na banda de condução do cristal, uma vez que estes elétrons são dopados pela impureza, este semiconductor resultante denomina-se semiconductor tipo n. De maneira análoga, se é introduzido no Si cristalino puro o Boro B, que tem 3 elétrons de valência, fará falta um elétron para se ligar com um dos átomos de Si do cristal, este “Buraco” se comporta como carga positiva, libertado na banda de valência do cristal. Este semiconductor resultante denomina-se tipo p (Greacen, 1991, Lee, 1999; Carvalho & Calvete, 2010).

Uma célula solar à base do semiconductor silício pode ser montada a partir da utilização de transistores de potência do tipo 2N3055 (dispositivo utilizado em alto-falantes), uma vez que estes possuem uma pequena placa de silício dopado em seu interior com dimensões razoáveis para este fim (Silva *et al.*, 2004). O entendimento do funcionamento de uma célula solar envolve fundamentalmente conhecimentos em química e física. Além disso, este tema permite inter-relacionar questões econômicas e socioambientais, viabilidade geográfica e sua importância como fonte de energia renovável no Brasil e no Mundo.

Portanto as células solares, como fonte alternativa de energia constituem uma temática que pode ser utilizada como tema gerador interdisciplinar para o ensino de Química. A importância de se trabalhar os conteúdos sobre estruturas atômicas e ligações químicas reside no fato de que a natureza da ligação química está relacionada a estrutura eletrônica dos átomos, ela determina várias propriedades macroscópicas das substâncias.

Assim, o propósito deste trabalho foi utilizar a montagem de uma célula solar caseira como tema gerador, facilitador no processo de ensino-aprendizagem, na explicação de estrutura atômica e a sua relação com as teorias de ligação química, estando estas relacionadas às propriedades físicas e químicas dos materiais.

Aspectos Metodológicos

A proposta de experimentação foi aplicada numa turma de Ensino Médio de uma escola da Rede Estadual de Ensino. Os executores da pesquisa optaram por assumir o papel de observadores participantes e as atividades foram realizadas durante três aulas de 50 minutos cada. Para Lüdke & André (1986), a observação participante aproxima o observador da perspectiva do sujeito e permite descobrir aspectos novos de um problema.

Por meio da observação é possível analisar o ponto de vista daqueles que estão sendo observados, sendo esta análise mais aprofundada, visto que permite uma compreensão mais completa sobre o outro, nos demonstrando como ele vê, sente e percebe o seu próprio ambiente e como constrói as suas próprias relações com este ambiente.

A coleta de dados foi realizada por meio de questionário e anotações no diário de campo durante as atividades realizadas pelos autores. A opção pelo questionário se deu em virtude do número de indivíduos a serem atingidos pela pesquisa, além da vantagem de que “os respondentes se sentirem mais confiantes, dado o anonimato, o que possibilita coletar informações e respostas mais reais” (Cervo & Bervian, 2002). Nos questionários fez-se uso tanto de questões fechadas, para a coleta de informações que requerem dados mais preciosos, como de questões abertas, que nos fornecem informações mais ricas e variadas em seu conteúdo.

Para compreensão dos elementos coletados, responder às questões estabelecidas e ampliar o conhecimento sobre o assunto pesquisado, é que se utilizou uma abordagem qualitativa descritiva. Essa abordagem possui com fonte direta de dados o ambiente natural, e tem por premissa buscar a resolução de problemas melhorando as práticas por meio da observação, análise e descrições objetivas (Lüdke & André, 1986). Assim, pode ser aplicado em aulas dialogadas, debates, imagens, enfim, qualquer forma de comunicação, seja verbal ou não-verbal.

Como procedimento experimental foi proposto na primeira aula a fabricação de uma célula solar caseira. Para isto, os alunos foram divididos em grupos de quatro pessoas, de forma que cada grupo montasse uma célula solar. As células solares foram expostas ao Sol para se verificar seu funcionamento por meio de um multímetro (medida da diferença de potencial gerada). Também, utilizou-se a corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica para reduzir íons prata (I) de uma solução previamente preparada, formando assim uma camada de prata sobre um eletrodo de carbono em uma célula eletrolítica.

O transistor de potência 2N3055 utilizado é constituído por uma carcaça metálica externa e internamente contém dois terminais de semicondutor de silício (pastilha de silício). Para a montagem da célula fotovoltaica, primeiramente é necessária a retirada da superfície do invólucro de metal, que nada mais é que uma blindagem externa usada para dissipar calor, expondo a pastilha de silício e os contatos eletrônicos (Figuras 1 e 2).



Figura 1: Transistor com invólucro metálico

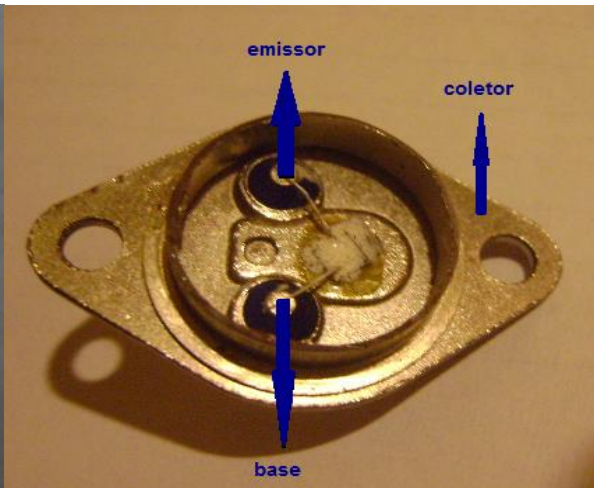


Figura 2: Visão interna do transistor

Após a retirada do invólucro, é necessário testar, através de um voltímetro, todos os componentes a serem utilizados para encontrar onde acontece a condução de energia.

Os transistores foram então fixados em uma capa de caderno através de furos realizados com uma tesoura de ponta fina (Figura 3). A fixação tem finalidade de facilitar a exposição simultânea de todas as superfícies semicondutoras de silício ao sol, no melhor ângulo possível. Deve-se utilizar um conjunto de oito transistores para obter uma maior corrente elétrica e diferença de potencial.

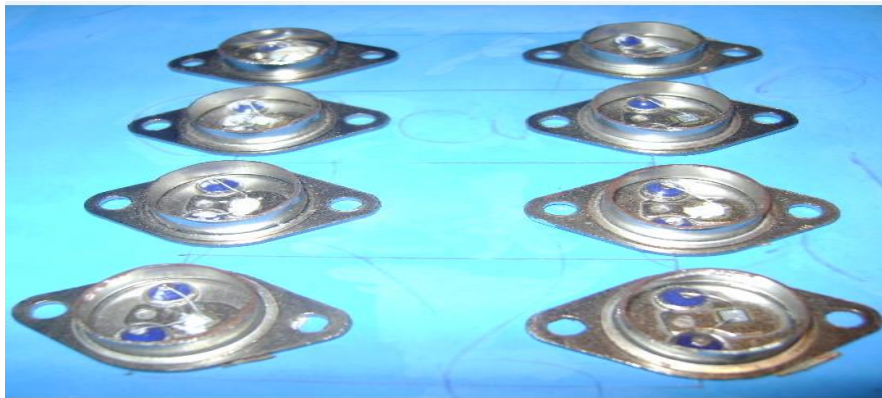


Figura 3: Transistores fixados em uma capa de caderno

O próximo passo foi efetuar as ligações elétricas. Para isto montou-se um circuito elétrico simples, dividindo os oito transistores em dois grupos de quatro. Cada grupo de quatro foi ligado em série (para aumentar a voltagem), como pode ser visualizado na Figura 4.

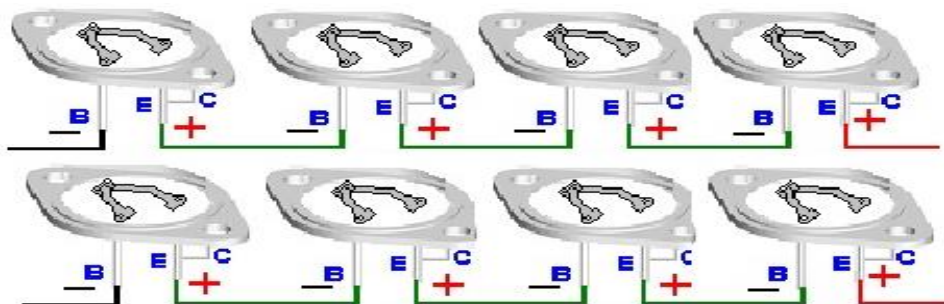


Figura 4: Transistores ligados em série

Posteriormente, os dois circuitos, cada um com quatro transistores ligados em série, foram ligados em paralelo para aumentar a corrente, formando o circuito demonstrado na Figura 5.

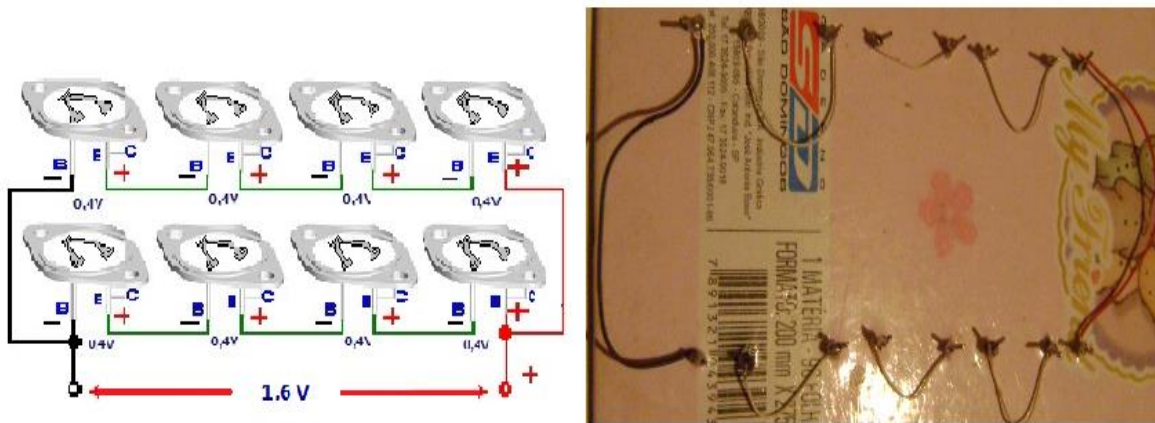


Figura 5: Ligação em paralelo entre dois grupos contendo quatro transistores cada em serie

Para testar a célula fotovoltaica foi conectado um multímetro aos terminais do circuito e medida a diferença de potencial (V) e corrente elétrica (i).

Em uma última etapa do procedimento efetuou-se a conexão da célula fotovoltaica a um sistema para eletrólise de uma solução de nitrato de prata. A célula eletrolítica (Figura 6a) foi montada utilizando-se um tubo de ensaio e uma borracha de látex (tipo escolar) como tampa, contendo dois furos para inserção dos eletrodos de grafite (grafite de lapiseira 1.6). Os furos na tampa de borracha foram feitos com uma agulha. Uma alternativa à utilização do tubo é usar um pequeno pote com tampa. Nesse caso é necessário apenas esquentar a agulha para abrir dois furos na tampa do frasco com dimensões suficientes para que se possam inserir os eletrodos de grafite. A Figura 6b representa a conexão da célula solar ao sistema para eletrólise da solução de nitrato de prata.

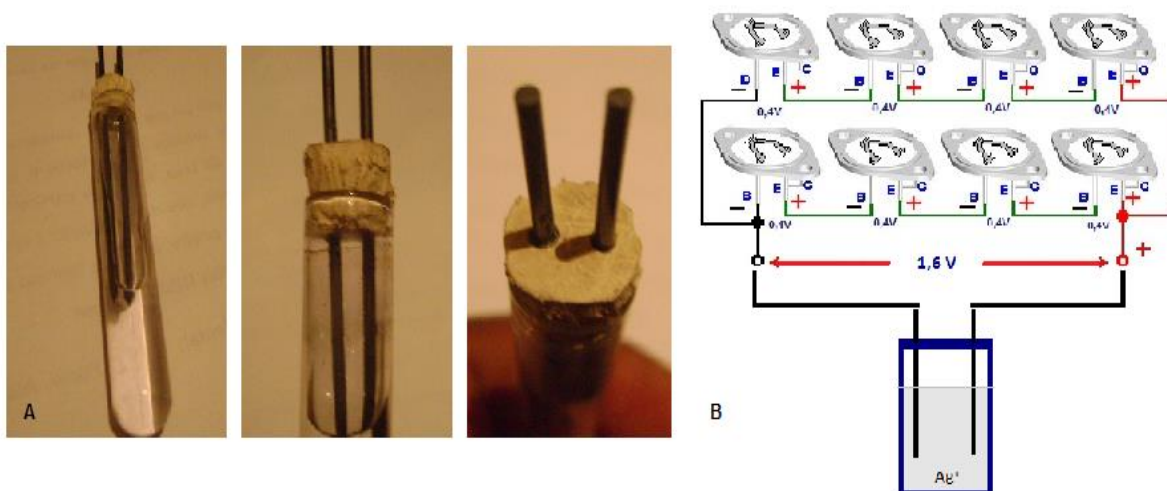


Figura 6: (a) Sistema para eletrólise de uma solução de nitrato de prata e (b) célula solar conectada ao sistema de eletrólise

Vale ressaltar, que o conteúdo em nível fenomenológico, que representa os fenômenos de interesse da química, sejam eles diretamente concretos e visíveis ou não, foi abordado através da verificação da voltagem da célula fotovoltaica com o multímetro e por meio da reação de redução de íons prata (I) sobre carbono. O nível teórico, que representa as informações de natureza atômico-molecular, foi abordado a partir da explicação de como se forma a corrente elétrica e a diferença de

potencial por meio do modelo de Rutherford-Bohr e por meio da explicação das teorias de ligação química.

A visão representacional, que compreende informações referentes à linguagem química como fórmulas, equações e representação de modelos, foi realizada seguindo a ordem de discussão: estrutura atômica do silício; estabilidade dos elementos quando atingem configuração de gases nobres; formação de ligações químicas (covalente, iônica e metálica); tipos de ligações químicas presentes nos componentes da célula fotovoltaica e suas características; semicondutores e suas propriedades; efeito fotovoltaico; voltagem e geração de corrente elétrica.

Resultados na Sala de Aula – As Vozes dos Alunos

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos durante a realização do experimento. No momento da discussão destes resultados, serão utilizadas as respostas mais frequentes e relevantes obtidas durante a atividade.

Através de uma breve discussão observou-se que os alunos tinham conhecimento da aplicabilidade das células solares, porém não sabiam como é o funcionamento das mesmas. Com isso, propôs-se a montagem de uma célula solar, utilizando-se transistores de potência de alto-falantes. Os alunos mostraram-se entusiasmados com relação à realização do experimento, o que contribuiu para discussão dos tópicos de física e química relacionados ao tema.

Dois células foram montadas conforme proposto no procedimento experimental e ambas geraram uma tensão média de aproximadamente 1,5 V, valor condizente com o esperado uma vez que cada transistor utilizado gera aproximadamente 0,4 V.

Durante a determinação da voltagem gerada pela célula, foi questionado aos alunos se eles tinham ideia da definição de célula solar. Nenhum aluno se manifestou para explicar completamente o fenômeno, porém sabiam que este dispositivo utilizava a luz solar para gerar energia, evidenciando o quanto o tema é atual na vida deles. Dentre as respostas obtidas, podemos citar:

“Célula solar converte energia solar em elétrica.”

“A luz solar transforma em energia elétrica na célula.”

Segundo Hodson (1994), permitir que os alunos exponham suas ideias a respeito dos fenômenos estudados no trabalho experimental incita a ampliação de suas capacidades conceituais, levando os estudantes a explorar, elaborar e supervisionar suas ideias, confrontando-as com a ideia científica, somente desta forma as aulas práticas de ciências terão papel importante no desenvolvimento cognitivo. Portanto, permitir que os estudantes pudessem manifestar seu conhecimento prévio sobre assunto, para depois confrontar com a teoria, é uma maneira de possibilitar que os alunos desenvolvam a capacidade de relacionar dados empíricos com referencial teórico.

Para mostrar que realmente a célula fotovoltaica funcionava, ela foi utilizada para gerar corrente elétrica para reduzir íons prata (I) de uma solução aquosa, formando prata metálica sobre um eletrodo de carbono (grafite de lapiseira). Ademais, foi observada a dimensão psicológica da experimentação no contexto social, ao induzir os alunos a formarem grupos para montarem a célula, proporcionando a oportunidade dos mesmos aprenderem a cooperar entre si para atingir determinado objetivo. Para Giordan (1999), experimentos que são estruturados em uma problemática social, no caso deste trabalho a energia solar e elétrica, levam os alunos a aprenderem a trabalhar em equipe, cria o espírito cooperativo, aprendem a argumentar, contestar e a respeitar as diferenças. Os conteúdos científicos abordados dessa forma ganham uma dimensão social fundamental para formação da cidadania.

A prática realizada se mostrou produtiva no sentido de despertar o interesse dos alunos para entenderem os conceitos em química envolvidos na interpretação do funcionamento de uma célula fotovoltaica. Pois, os alunos demonstraram interesse pela investigação do funcionamento da célula solar e manifestaram habilidades cognitivas. Essas habilidades foram observadas na elaboração de hipóteses para explicação dos fenômenos envolvidos na transformação de energia que ocorre na célula.

Abaixo estão transcritas algumas falas dos alunos que evidência a aprendizagem dos mesmos com relação aos conceitos de condução elétrica.

“A luz solar arranca elétrons deixando uma região com carga positiva isso provoca o movimento de elétrons na célula para região de carga positiva gerando corrente elétrica”

“A capacidade do material permite o deslocamento de elétrons em um material é o que permite a passagem de corrente elétrica”

Além disso, teve aluno que associou a experiência aplicada com outros fatos ocorridos no seu cotidiano:

“Ah! Então e assim que funcionam aquelas placas que a gente vê em cima das casas, que usam para carregar baterias.”

As falas dos alunos demonstraram que os mesmos adquiriram algum conhecimento sobre os aspectos do processo de geração de energia e condução de eletricidade pelos materiais, porém essas respostas não explicam por completo os fenômenos observados. Neste sentido, coube ao professor intervir mais uma vez para uso correto dos conceitos de química.

Ao final da terceira aula foi aplicado o questionário para analisar a aprendizagem dos alunos. Analisou se as respostas foram corretas, classificando-as de acordo aos critérios: de forma significativa; de forma parcial e não atingiu. A análise dos resultados das questões encontra-se na Tabela 1.

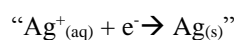
Tabela 1: Percentual de alunos que acertaram as respostas das questões propostas

Questões	Alunos que acertaram as respostas (%)	
1	De forma significativa	50
	De forma parcial	25
	Não atingiu	25
2	De forma significativa	100
	De forma parcial	0
	Não atingiu	0
3	De forma significativa	75
	De forma parcial	12,5
	Não atingiu	12,5
4	De forma significativa	100
	De forma parcial	0
	Não atingiu	0
5	De forma significativa	100
	De forma parcial	0
	Não atingiu	0

A primeira questão, “*como as células solares transformam a energia luminosa em energia elétrica? Explique como ocorre a deposição da prata quando uma solução de seu sal é submetida a uma fonte de energia elétrica?*”: Os resultados demonstram que 50% dos estudantes aproximaram significativamente das respostas esperadas. Eles conseguiram argumentar como o efeito

fotovoltaico desloca os elétrons da placa de silício promovendo a formação da corrente elétrica, como se observa em algumas das respostas transcritas:

“A luz solar atinge a placa e retira elétrons da camada de valência, como o negativo foi retirado forma regiões com excesso de carga positiva, que atraí outras cargas negativas formando um movimento de elétrons que é a corrente elétrica”



Um total de 25% dos alunos que acertaram parcialmente não responderam como as células solares transformação a energia luminosa em energia elétrica. Apesar de 25% dos alunos não terem respondido completamente a primeira questão, eles demonstraram uma evolução, tornando suas ideias mais complexas do que as iniciais, pois quando questionados anteriormente sobre o funcionamento da célula, responderam apenas:

“A luz solar forma energia elétrica na célula”

“O calor do sol faz formar energia elétrica”

“A luz solar transforma em energia elétrica na célula”

Eles posteriormente ampliaram suas respostas incluindo a ideia de elétrons, percebendo que o papel da luz solar é de deslocar os elétrons da superfície da placa célula, como se observa nas respostas a seguir:

“A luz solar incide na placa remove elétrons e forma a corrente”

“Quando a luz retira os elétrons forma-se energia elétrica”

“A luz do sol remove os elétrons do semicondutor e forma eletricidade”

Para amenizar essa situação, deve se dar ênfase no diálogo professor-aluno em sala de aula. Para Hodson (1988), é importante não tentar impor significados aos alunos, para que o aluno se aproprie de um conceito é necessário explicar sempre a partir do que o mesmo já sabe. Aprender é um processo contínuo, no qual os aprendizes constroem e reconstróem os significados ativamente.

A segunda questão, “*o efeito fotovoltaico remove elétrons dos átomos proporcionando a formação de uma voltagem na célula. De qual região do átomo esses elétrons são removidos e por quê?*” foi respondida com 100% de êxito por todos os alunos, descrito nas respostas a seguir:

“Os elétrons são retirados pela luz da camada de Valencia porque ela é mais energética”

“Da última camada de valência, porque ela é a mais energética”

Na terceira questão, “*de acordo a teoria de ligação metálica como ocorre à condução de corrente elétrica? Quais tipos de materiais podem ser empregados como isolantes de corrente elétrica, qual tipo de ligações eles fazem?*”, 75% dos estudantes aproximaram-se da resposta esperada, identificando como ocorre a condução de energia elétrica nos metais. E ainda citaram corretamente materiais que podem ser utilizados como isolantes, conforme se observa as repostas dadas por eles a seguir:

“Como (*os elétrons*) da última camada dos metais não estão muito presos eles se movimentam por toda estrutura do material como uma nuvem, o plástico e a borracha são isolantes, fazem ligações covalentes”

“A borracha, plástico eles possuem seus elétrons firmemente presos por isso não conduzem corrente elétrica”

A quarta questão, “*de acordo com o tipo de ligação química que os componentes da célula (Transistores, Fios, Chapa Metálica, Suporte de borracha) fazem, classifique- os em isolantes,*

condutores, ou semicondutores?”, foi respondida com pleno êxito pelos alunos, sendo que todos identificaram quais os componentes da célula que podem ser classificados como condutores, semicondutores e isolantes.

“Capa de caderno → isolante → suporte”;

“Capa de caderno é isolante e também funciona como suporte para os transistores; já os fios são os que conduzem eletricidade e sua função é ligar os transistores; a placa de Silício é um semicondutor e converter energia solar em elétrica”

A última questão, “*qual a importância da energia solar como fonte de energia alternativa?*”, também foi plenamente respondida, pois os alunos correlacionaram à necessidade da utilização de energia solar como alternativa energética, por ser menos prejudicial ao meio ambiente que as fontes tradicionais fósseis, tal como se verifica nas repostas a seguir:

“Para ajudar na redução da poluição meio ambiente, pela redução da emissão de gases estufa.”

“Polui bem menos a natureza do que outras fontes ajudam a preservar o meio ambiente e ainda é uma fonte renovável”

Ao final da aula alguns alunos realizaram comentários sobre o experimento:

“Olha professor eu jamais imaginava que isso funcionava assim, a gente não sabe para o que serve a maioria das coisas que estudamos, seria mais legal se tivéssemos mais experiências assim”

“Eu quero montar uma célula dessas lá em casa para mostrar para minha mãe, ela não vai acreditar”

A fala dos alunos acima mostra como eles acharam a aula interessante por tornar tangível a teoria, esta que muitas vezes parece tão distante de suas vidas. Para Castro & Aleixandre (2000), esse é um ponto que deve nos levar a refletir sobre a necessidade da contextualização nas aulas de ciências e como a experimentação pode ser uma maneira de aproximar o aluno do conhecimento, desde que conduzida de forma coerente, sem tropeçar nos antiquados paradigmas do positivismo.

Vale ressaltar que durante o desenvolvimento da proposta, a principal dificuldade encontrada foi o tempo necessário para que houvesse deposição de prata no grafite, em quantidade apreciável para ser observada. Outra dificuldade encontrada é grande dependência do experimento a luz solar.

Os conceitos químicos de estrutura atômica e ligações são de alto grau de abstração e complexidade, foi preciso especial cuidado na sua apresentação para evitar uma representação meramente formal, sem uma preocupação mais conceitual, o que levaria à simples memorização de ideias mal compreendidas.

Considerações Finais

A prática experimental realizada mostrou-se uma ferramenta alternativa de auxílio, para facilitar a contextualização de conceitos abstratos na química contribuindo para a aprendizagem. Portanto, a montagem de uma célula solar para explicação de modelo atômico relacionando-o com a formação das ligações químicas indicou uma prática produtiva para desenvolver as capacidades cognitivas dos estudantes. E assim, consequentemente capacitar os mesmo a analisar o mundo não apenas a partir do senso comum mais também com olhar científico.

Foi observado durante a aula e a partir dos dados obtidos no questionário que os alguns alunos tiveram dificuldade em assimilar os conceitos ministrados. Esses, mesmo após o final da aula não compreenderam completamente os princípios envolvidos nas ligações covalentes iônicas e

metálicas. Entretanto apresentaram evolução de suas ideias iniciais, tornando as mesmas mais ricas e complexas e associadas a conceitos químicos e não mais apenas ao senso comum de início.

O importante para que aula atinja sua finalidade é que ao fim desta, os alunos enriqueçam suas ideias, se apropriando do discurso da ciência. Os conceitos envolvidos nas ligações químicas e estrutura atômica são abstratos e de difícil compreensão. E a prática realizada mostrou-se uma alternativa para facilitar a compreensão desses conteúdos.

Além disso, o estudo das fontes energéticas proporcionou aos estudantes a compreensão da importância da química no desenvolvimento de novas fontes de energia sustentáveis, favorecendo a consciência sobre a preservação do meio ambiente.

Referências Bibliográficas

- ATIKINS, P. E. & JONES, L. (2006). *Princípios de Química Questionado a Vida e o Meio Ambiente*. Trad. R. B. Alencastro. Porto Alegre: Bookman.
- BRASIL. (2008). *Tecnologias de Energias Renováveis: Soluções energéticas para a Amazônia*. Brasília: MME.
- CARVALHO, E. F. A. & CALVETE, M. J. F. (2010). Energia Solar: Um passado, um presente... um futuro auspicioso *Rev. Virtual Química*, 3 (2), 192-203.
- CASTRO, C. E. R. & ALEIXANDRE, M. P. J. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 275-284.
- CERVO, A. L. & BERVIAN, P. A. (2002). *Metodologia Científica*. São Paulo: Hall Brasil.
- CHASSOT, A. (1996). Sobre prováveis modelos de átomos. *Química Nova na Escola*, 3 (1), 3.
- CHASSOT, A. I. (2008). Da Química às Ciências: Um caminho ao avesso. In: *Educação Química n Brasil Memórias, Políticas e Tendências*, p. 217-234. Campinas: Átomo.
- DE JONG, O. (1996). Los experimentos que Plantean Problemas en las Aulas de Química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 305-314.
- FALCÃO, V. D. (2005). *Fabricação de Células Solares de CdTe*. 2005. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais), Instituto Militar e Engenharia, Rio de Janeiro.
- FREIRE, P. (1996). *Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra.
- GIL-PÉREZ, D.; FERNÁNDEZ, I.; CARROSCOSA, J.; CACHAPUZ, A. & PRAIA, J. (2001). Por uma Imagem não Deformada do Trabalho Científico. *Ciência & Educação*, 7 (2), 125-153.
- GIORDAN, M. (1999). O papel da Experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*. 10 (2), 43-49.
- GOMES, L. I. P. (2009) *Células solares Semitransparentes de Silício Amorfo/ Nano cristalino*. 2009. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais). Universidade Nova Lisboa, Lisboa.
- GREACEN, C. (1991). How Photo voltaic Cells Work. *Home Power magazine*, 23, 68-71.
- HODSON, D. (1982). Is there a Scientific Method? *Education in Chemistry*, 19 (4), 112- 121.

- HODSON, D. (1988). Experimentos na Ciência e no Ensino de Ciências. Trad. de Paulo A. Porto. *Educational Philosophy and Theory*, 20, 53-66.
- HODSON, D. (1994). Hacia um Enfoque más Crítico del Trabajo de laboratório. *Enseñanza de las Ciências*, 12 (3), 299-313.
- LEE, J. D. (1999). *Química Inorgânica não tão concisa*. Trad. H.E. Toma, K. Araki, R.C. Rocha. São Paulo: Edgard Blücher.
- LÛDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. São Paulo: EPU.
- MALDANER, O. A. (1999). A pesquisa como Perspectiva de Formação Continuada do Professor de Química. *Química Nova*, 22 (2), 289-292.
- NIEDHARDT, J. T. (2009). *Novas Perspectivas Para a Energia Solar no Brasil*. 2009. 54p. Monografia (Especialização em Formas Alternativas de Energia). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- PEIXOTO, E. M. A. (2001). Silício. *Química Nova na Escola*, 14 (2), 5.
- PINHEIRO, W. A. (2010). *Construção de um Sistema CSS para Deposição de Células de CdS/CdTe e sem Quebra de Vácuo*. 2010. 180p. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- SHRIVER, D. F. & ATKINS, P. W. (2006). *Química Inorgânica*. Porto Alegre: Bookman.
- SILVA, R.; CHIQUITO, A. J.; SOUZA, M. G. & MACEDO, R. P. (2004). Células solares "caseiras". *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26 (4), 379-384.
- TOMA, H. E. (1997). Ligação Química: abordagem clássica ou quântica? *Química Nova na Escola*, 6 (2), 8-12.