

## Célula solar na escola: como construir uma célula solar sensibilizada por corantes naturais

Ivana de Souza Christ, Kauana Nunes de Almeida, Verônica Granvillla de Oliveira, Matheus Costa de Oliveira, Marcos José Leite Santos e Nara Regina Atz

A crescente consciência quanto ao impacto ambiental causado por uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis tem impulsionado a pesquisa por novas fontes de energia que sejam limpas, renováveis e acessíveis. Embora no ensino básico e médio em aulas de biologia, física e química, o tema energia renovável seja abordado, a realização de experimentos simples pode contribuir para a compreensão de como a energia solar é convertida em energia elétrica. Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho é apresentar um método simples de montagem de Células Solares Sensibilizadas por Corantes Naturais, que possa ser empregado como atividade experimental, utilizando materiais de baixo custo e facilmente encontrados. Este trabalho tem o propósito de despertar o interesse de professores e alunos sobre a produção de energia limpa e renovável.

► célula solar, educação, corantes naturais ◀

Recebido em 30/10/2018, aceito em 27/01/2019

**A** busca por novas fontes de energia tem crescido enormemente nas últimas duas décadas. Este crescimento tem sido impulsionado pela necessidade de substituir a matriz energética atual, baseada em combustíveis fósseis, por uma nova matriz, baseada em fontes de energia limpa e renovável. Essas novas fontes devem permitir o desenvolvimento da sociedade atual sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras. Dentro desse contexto, a conversão de luz solar em energia elétrica é uma das tecnologias mais interessantes que tem sido explorada. Embora o sol esteja na verdade sendo consumido, a sua luz deve incidir sobre a Terra pelos próximos cinco bilhões de anos, portanto do ponto de vista da expectativa de vida da espécie humana, o sol pode ser considerado uma fonte infinita de luz. A conversão de energia solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico constitui a base de uma célula solar. Este efeito foi inicialmente observado em 1839, por Edmond Becquerel, que produziu corrente elétrica ao incidir luz sobre eletrodos

mergulhados em eletrólito (Grätzel, 2001). Essa tecnologia evoluiu passando por diferentes gerações de células solares (silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos) e, na década de 90, foi publicado por Michael Grätzel e colaboradores, o desenvolvimento de Células Solares Sensibilizadas por Corantes (CSSC's).

As CSSC's fazem parte da chamada terceira geração de células solares; são leves, podem ser flexíveis e obtidas a baixo custo. São constituídas por um corante (sensibilizador), um semiconductor nanocristalino ( $\text{TiO}_2$ , dióxido de titânio), um par redox (solução de iodo), dois eletrodos de vidro com uma camada condutora e transparente (ITO - óxido de estanho dopado com índio, eletrodo negativo) e um catalisador (grafite ou platina, eletrodo positivo) (Azevedo e Cunha, 1991). A geração de energia através de uma CSSC é obtida através do *efeito fotoeletroquímico*, que se baseia na habilidade de um sensibilizador adsorvido sobre a superfície de um semiconductor, em absorver luz gerando elétrons excitados que são transferidos para o semiconductor. Os sensibilizadores podem ser corantes naturais, como os utilizados no presente trabalho. No processo de conversão, a luz incidente é absorvida pelo sensibilizador, promove elétrons do seu orbital ocupado de maior energia (HOMO) para o orbital

A seção "Experimentação no Ensino de Química" descreve experimentos cuja implementação e interpretação contribuem para a construção de conceitos científicos por parte dos alunos. Os materiais e reagentes usados são facilmente encontráveis, permitindo a realização dos experimentos em qualquer escola.

desocupado de menor energia (LUMO). Estes elétrons são transferidos para a banda de condução do semiconductor e se movem em direção a um eletrodo coletor, onde podem ser utilizados para gerar corrente elétrica. Como o HOMO do sensibilizador é oxidado pela luz, é necessário um par redox que regenere o sensibilizador doando um elétron. O par redox mais utilizado é o iodeto/triiodeto ( $I^-/I_3^-$ ).

## Objetivo

O principal objetivo desse estudo é proporcionar uma rota simples e detalhada para a montagem de Células Solares Sensibilizadas por Corantes Naturais, que possa ser utilizada para fins didáticos.

**Materiais utilizados na montagem das CSSCN's:** beterraba, repolho roxo e sementes de urucum (fontes de corantes naturais); papel alumínio; papel filtro ou filtro de café adquiridos no mercado; corretivo líquido à base de água (fonte de  $TiO_2$ ) e grampos metálicos adquiridos em papelerias; Display - LCD (*Liquid Crystal Display*) de calculadoras ou celulares em desuso (fonte de ITO - óxido de estanho dopado com índio); tintura de iodo 2% (solução eletrolítica) e pinça adquiridos em farmácias; multímetro ou voltímetro; cortador de vidro; chave de fenda e fita crepe adquiridos em ferragens; *mixer* ou ralador de legumes; placa de Petri; funil de vidro ou de plástico; secador de cabelo; chapa de aquecimento ou mufla (forno); vela de parafina (fonte de carbono); conta gotas; bastão de vidro ou colher de plástico.

## Passo a passo para a montagem e caracterização das CSSCN's

### 1º Passo: Extração dos corantes naturais

Para extração dos pigmentos, 25 g de beterraba (ralada, sem casca e crua), repolho roxo ou sementes de urucum foram colocados separadamente em béqueres de 250 mL com 100 mL de água. As misturas (contendo vegetais ou sementes de urucum) permaneceram em repouso por cerca de 10 min, com ciclos de agitação manual a cada 2 min para melhorar a extração. As misturas já com os pigmentos extraídos, foram filtradas em papel filtro ou filtro de café e estocadas em frascos de vidro com tampa.

### 2º Passo: Obtenção dos eletrodos

Com o auxílio de uma chave de fenda, foram abertas calculadoras para obtenção das duas placas de vidro, localizadas no meio do display, que são cobertas por uma fina camada de óxido de estanho dopado com índio (ITO) (Silveira et al., 2012). Estas placas de vidro cobertas com ITO serão utilizadas para montagem dos eletrodos (negativo e positivo) das CSSCN's. Esse passo deve ser realizado com cuidado, pois para separar as placas de vidro é necessário inserir um artefato cortante (faca). Utilizando um cortador de vidro estas placas devem ser cortadas, no tamanho de 2 por 2 cm (Figura 1). Cuidado para não arranhar as placas e assim não remover a camada de ITO. O corte das placas pode

gerar bordas afiadas, portanto este passo deve ser realizado com extremo cuidado.

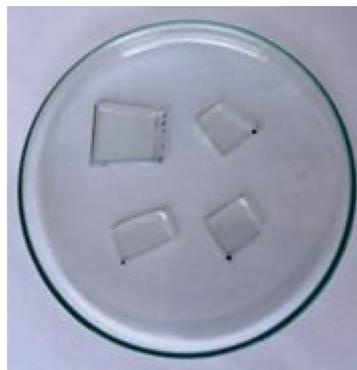


Figura 1: Mostra pedaços de vidro, contendo óxido de índio e estanho (ITO), retirados de displays de LCD de uma calculadora e cortados no tamanho aproximado, de 2 x 2 cm para a construção das CSSCN's.

### 3º Passo: Preparação do eletrodo negativo (-)

a) A placa de vidro do display da calculadora deverá ser limpa com água e detergente e seca com secador. É importante não atritar a placa fortemente ao lavar, para não remover a camada de ITO, que está depositada em um dos lados do vidro.

b) O lado condutor da placa de vidro do display LCD pode ser determinado através de medida da resistência elétrica. Isto pode ser feito com os dois terminais (preto e vermelho), conectados a um multímetro, colocados em contato com a mesma face da placa de vidro do display LCD. Na face do vidro que contém a camada com ITO será medido um valor de tensão no multímetro (Figura 2). Atenção: selecionar a função resistência elétrica no multímetro.



Figura 2: Mostra como medir, usando um multímetro, o lado condutor da placa de vidro contendo óxido de índio e estanho (ITO).

c) A placa de vidro com ITO deve ser fixada sobre uma mesa, usando fita adesiva nos lados, deixando o meio da

placa livre e garantindo que a superfície condutora esteja virada para cima (Figuras 3a-b).

d) A camada de  $\text{TiO}_2$  (corretivo líquido a base de água) deve ser depositada sobre a face da placa de vidro condutora (ITO) exposta como mostra a Figura 3c.

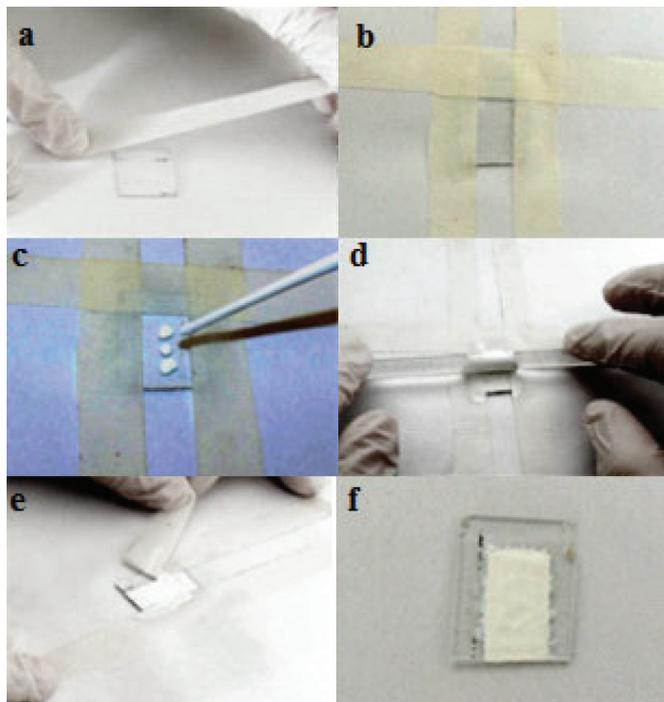


Figura 3: Sequência de etapas (a - f) feitas para a obtenção do eletrodo negativo (placa de vidro condutora (ITO) mais a camada de  $\text{TiO}_2$ ).

e) O corretivo ( $\text{TiO}_2$ ) deve ser espalhado de modo a formar uma camada fina e homogênea (Figura 3d). Esperar esse filme secar à temperatura ambiente ou usar um secador de cabelo para que o processo ocorra mais rápido.

f) Depois de seco o filme, retirar a fita adesiva do vidro com cuidado para não danificar a camada de corretivo ( $\text{TiO}_2$ ) depositada sobre a placa de vidro condutor (Figura 3e). É fundamental que a camada de  $\text{TiO}_2$  esteja íntegra para melhor eficiência da célula solar em converter luz em eletricidade.

g) A placa (Figura 3f) deve ser colocada sobre uma chapa de aquecimento, coberta com papel alumínio e aquecida entre  $200^\circ\text{C}$  até  $350^\circ\text{C}$  por cerca de 30 minutos (Fig. 4a-b).

#### 4º Passo: Preparação do eletrodo positivo (+)

a) A outra metade do vidro (ITO) retirado do display LCD da calculadora deve ser limpa com água e detergente (com cuidado) e seca com secador de cabelo.

b) Usar novamente um multímetro para determinar o lado condutor (medir a resistência).

c) Um filme de carbono (C) deve ser depositado sobre superfície condutora do display (ITO + carbono). Esse filme pode ser obtido através da queima do pavio de uma vela de parafina (Figura 5), garantindo que a fuligem resultante da queima forme um filme de carbono sobre a superfície do

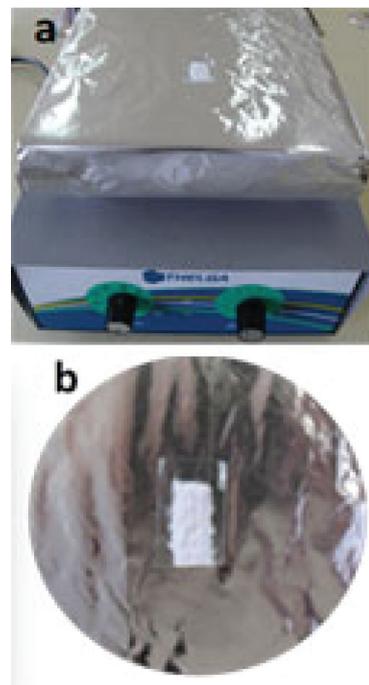


Figura 4: A placa de vidro condutora com o ITO mais a camada de  $\text{TiO}_2$  (Figura 3f) colocada sobre uma chapa de aquecimento para a queima de produtos orgânicos. (a) Placa de vidro colocada diretamente na chapa de aquecimento e (b) Placa de vidro na chapa de aquecimento em evidência.



Figura 5: Depósito da camada de carbono (preta) na superfície da placa de vidro condutora (ITO) por meio da queima do pavio de uma vela de parafina.

ITO. A superfície condutora da placa de vidro deverá ser coberta uniformemente com carbono.

#### 5º Passo: Adsorção do corante natural sobre o eletrodo negativo (ITO + filme de $\text{TiO}_2$ )

a) O eletrodo negativo depois de pronto (3º passo) deve ser imerso, por 30 minutos, na solução aquosa contendo o corante obtido de vegetais, como por exemplo, beterraba (Figura 6a) ou de sementes de urucum (Figura 6b).

b) Após retirar o eletrodo negativo dos corantes (Figuras 6a-b), com o auxílio de uma pinça, o mesmo deve ser lavado com água e seco com secador de cabelo. Após esse processo, a coloração da placa se mostrará menos intensa do que quando estava imersa nos corantes.

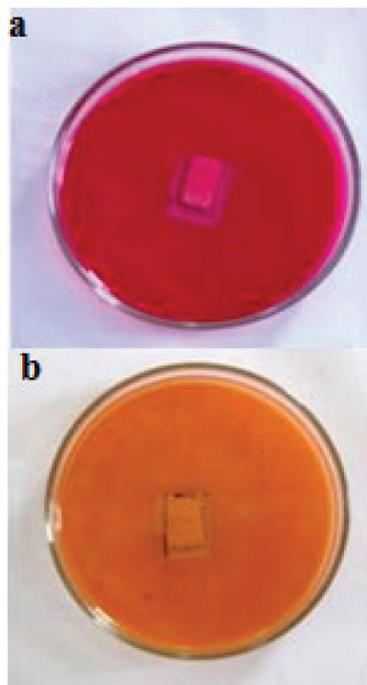


Figura 6: Etapa da aplicação do corante natural (sensibilizador) ao eletrodo negativo (ITO + camada de  $\text{TiO}_2$ ) para posterior montagem dos dispositivos (CSSCN's). a) Corante da vegetal beterraba e b) Corante de sementes de urucum.

#### 6º Passo: Montagem da Célula Solar Sensibilizada por Corante Natural (CSSCN)

a) A Célula Solar Sensibilizada por Corante Natural é montada num arranjo tipo sanduíche (Figura 7); os eletrodos negativos (ITO +  $\text{TiO}_2$ ) e positivo (ITO + C) são unidos utilizando um grampo metálico.

b) No espaço entre os eletrodos negativo e positivo devem ser acrescentadas algumas gotas de solução de tintura de iodo a 2% (solução marrom da Figura 7), fonte de íon iodeto, até que os mesmos estejam saturados dessa solução.

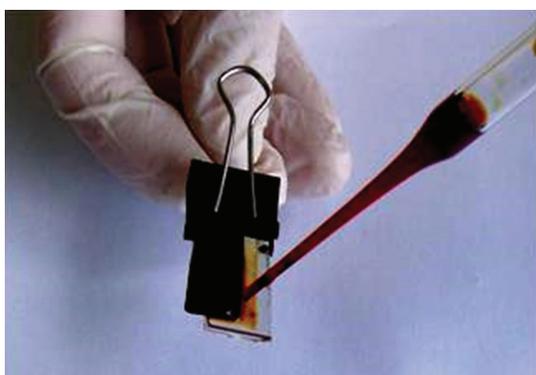


Figura 7: Mostra a solução de tintura de iodo 2% (solução marrom) sendo acrescentada, com conta gotas, entre as placas de vidro que contêm o eletrodo negativo (placa inferior branca) e o eletrodo positivo (placa superior preta).

#### 7º Passo: Teste de funcionamento da (CSSCN)

Assim como uma célula solar gera fotocorrente, também gera fotovoltagem. Para testar o funcionamento da célula solar, a voltagem da mesma pode ser medida com um

multímetro da seguinte forma: Os cabos preto e vermelho, conectados ao multímetro, devem ser postos em contato com os eletrodos negativo (-) e o eletrodo positivo (+), respectivamente (Figura 8). O teste de funcionamento da CSSCN deve ser realizado de duas formas: i) no escuro, apagando todas as luzes do ambiente e mantendo a CSSCN dentro de um recipiente sem luz e ii) sob iluminação, usando as luzes do ambiente ou a luz solar. A medida no escuro não deve gerar fotovoltagem, contudo a medida sob iluminação irá gerar. A fotovoltagem assim como a fotocorrente depende da intensidade da luz incidente, portanto quanto mais intensa for a luz maior será a fotovoltagem medida. A escala de tensão usada foi a de corrente contínua, na faixa de 2000 mV. As medidas da tensão elétrica das CSSCN's contendo os corantes oriundos do vegetal beterraba e de sementes de urucum foram 359 mV (Figura 8) e 478 mV, respectivamente. Estes valores de tensão dependem da intensidade da luz incidente, do corante e do procedimento de montagem da CSSCN.



Figura 8: Medida da tensão (359 mV), com um multímetro, da CSSCN produzida com corante (sensibilizador) extraído do vegetal beterraba.

#### Conclusão

Com base em testes realizados por alunos do primeiro semestre do curso técnico em química do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) – campus Porto Alegre, verificou-se com êxito que a montagem passo-a-passo de CSSCN's é possível de ser executada como uma atividade didática prática (Nunes *et al.*, 2016). Nessa atividade se trabalhou com duplas de alunos, em um tempo em torno de duas horas, com a orientação de um professor. A rota de montagem das células solares apresentada neste trabalho, embora muito simples e utilizando materiais do dia a dia, resulta em uma célula solar que pode ser montada rapidamente e que de fato converte luz em corrente elétrica. O composto bixina, pigmento extraído de sementes de urucum, aparentemente, se adsorveu mais na superfície do  $\text{TiO}_2$  (semicondutor da

célula) do que a molécula da betalaína, pigmento presente no corante da beterraba.

**Ivana de Souza Christ** (ivana.christ93@gmail.com), estudante do curso técnico em Química pelo IFRS, Campus Porto Alegre, RS – BR. **Kauana Nunes de Almeida** (kauanaalmeida@hotmail.com), estudante do curso técnico em Química pelo IFRS, Campus Porto Alegre, RS – BR. **Verônica Granvilla de Oliveira** (veronica\_granvilla@hotmail.com), estudante do curso técnico em Química pelo IFRS, Campus Porto Alegre, RS – BR. **Matheus Costa de Oliveira**

(matheuscdeoliveira@gmail.com), estudante do curso de Química Industrial da UFRGS, Porto Alegre, RS – BR. **Marcos José Leite Santos** (mjls@ufrgs.br), bacharel em Química, mestrado e doutorado em Química pela Universidade Estadual de Maringá. Parte do doutorado desenvolvido na University of Victoria, Victoria, Canadá. Pós-doutorado pelo Instituto de Física da USP de São Carlos. É Professor do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. **Nara Regina Atz** (nara.atz@poa.ifrs.edu.br), bacharel e licenciada em Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, mestrado e doutorado em Ciências dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Parte do doutorado na Friedrich-Alexander Universität, Alemanha. É professora do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, campus Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil.

## Referências

AZEVEDO, M.; CUNHA, A. Fazer uma célula fotovoltaica. *Rev. Physical on Stage*, v. 2, n. 4, p. 1-3, 1991. Disponível em <http://www.cienciaviva.pt/docs/celulafotovoltaica.pdf>, acessada em janeiro de 2019.

NUNES, K.; GRANVILLA, V.; CHRIST, I.S.; ATZ, N.R., SANTOS, M.J.L. *Construção de células solares sensibilizadas por corantes naturais para fins didáticos*. 17ª Mostra de Pesquisa, Ensino e Extensão do IFRS Campus Porto Alegre, 06 e 07 de Out. de 2016, em Porto Alegre /RS. Disponível em <http://poaconf.poa>

[ifrs.edu.br/index.php/mostra/mostra/paper/view/168](http://ifrs.edu.br/index.php/mostra/mostra/paper/view/168), acessada em janeiro de 2019.

GRÄTZEL, M. Photoelectrochemical cells. *International Journal of Science Nature*, n. 414, p. 338-344, 2001. Disponível em <https://www.nature.com/articles/35104607>, acessada em janeiro de 2019.

SILVEIRA, A.V.M.D.; FUCHS, M.D.S.; MEILI, L.; BERTUOL, D.A. Caracterização e processamento de telas de LCD de celulares visando a reciclagem. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, n. 8, p. 1785-1793, 2013. Disponível em <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/7314/pdf>, acessada em janeiro de 2019.

**Abstract:** *Solar cell in the school: how to build a dye sensitized solar cell using natural pigments.* The growing awareness about the environmental impacts caused by a fossil fuel based energetic matrix has driven the research of new generation of clean, renewable and affordable energy resources. Although in primary and secondary schools this subject is discussed in biology, physics and chemistry classes, a simple experiment can help the students to understand how solar energy can be converted into electricity. The present work shows the assembling of Natural pigment-based dye-sensitized solar cells. The simplified procedure allows the assembling of solar cells in experimental classroom activities using easily available materials. This study is intended to arouse the interest of teachers and students about the production of clean and renewable energy.

**Keywords:** solar cell, education, natural pigments