

TRANSFORMAÇÃO DE LUZ EM ENERGIA COMO UMA ALTERNATIVA PARA DEGRADAÇÃO DE POLUENTES

A conversão de CO₂ e a descontaminação da água de petróleo por meio da fotoeletrocatalise oferecem uma alternativa sustentável para a produção de combustíveis limpos e a redução de poluentes.





Texto de Divulgação Científica **Instituto de Química de Araraquara, UNESP**

ELABORADORES

Marina Ceccon Dias
Diogo Martins
Carlos Eduardo Budin
Bruna Giovanna Bertagna

ORIENTAÇÃO

Fernanda Zanolli Freitas
Amadeu Moura Bego

REVISÃO TÉCNICA

Giovanna Craveiro Marineli
Isabela Fernandes Ierick
Leonardo Lima e Silva
Marina Medina da Silva
Juliana Ferreira de Brito

Araraquara
2025



Esta obra é licenciada sob uma licença **Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Compartilhável (CC BY-NC-SA 4.0)**. Esta licença permite a cópia e redistribuição do material, em qualquer suporte ou formato, bem como sua tradução, adaptação e outras modificações, sem fins comerciais, desde que o crédito seja atribuído ao autor, que as alterações, se houver, sejam informadas e que as novas criações sejam licenciadas sob esta mesma licença. Os termos da licença são detalhados em <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.pt>.

Revisão Técnica

Giovanna Craveiro Marineli

Isabela Fernandes Ierick

Leonardo Lima e Silva

Marina Medina da Silva

Juliana Ferreira de Brito

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Transformação de luz em energia como uma alternativa para degradação de poluentes [recurso eletrônico] / Marina Ceccon Dias ... [et al.] ; organizado por Fernanda Zanolli Freitas e Amadeu Moura Bego. — Araraquara : Instituto de Química, 2025.

9 p. : il. color., fotos color. ; PDF.

1. Divulgação científica 2. Água Poluição por petróleo 3. Reação de oxidação-redução 4. Combustíveis fósseis 5.

Recursos naturais

Débora Marroco Ninin (bibliotecária responsável) - CRB 8/9343

VOCÊ SE LEMBRA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS? AQUELES DERIVADOS DO PETRÓLEO QUE USAMOS NO NOSSO DIA A DIA, COMO A GASOLINA E O DIESEL?

Pois é, eles são fontes de energia que vêm de materiais orgânicos que levaram milhões de anos para se formar. O problema é que eles são finitos – ou seja, uma hora vão acabar – e, uma vez queimados para gerar energia, não podem ser recuperados. O carvão, o gás natural e o próprio petróleo, todos esses são exemplos de combustíveis fósseis que, além de limitados, liberam gás carbônico (CO₂) na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global.

O QUE É O AQUECIMENTO GLOBAL?

O aquecimento global é o aumento da temperatura média da Terra devido à intensificação do efeito estufa. Esse efeito ocorre naturalmente, mas a queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa na atmosfera. Esses gases retêm o calor do Sol, impedindo que ele se dissipe para o espaço, o que causa o aumento da temperatura do planeta. Como resultado, enfrentamos eventos climáticos extremos, derretimento de geleiras e elevação do nível do mar. Reduzir o uso de combustíveis fósseis e investir em fontes de energia limpa é essencial para combater essa crise ambiental!



MAS, E SE PUDÉSSEMOS TRANSFORMAR O DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) , EM ALGO ÚTIL, COMO COMBUSTÍVEL LIMPO?

É exatamente isso que um grupo de cientistas do Instituto de Química de Araraquara está tentando fazer. Motivados pela necessidade de desenvolver uma solução sustentável para reduzir poluentes orgânicos e reutilizar o CO₂, o Grupo de Eletroanalítica de Araraquara (GEAr), liderados pela Profa Dr. Juliana Ferreira de Brito, vem se aprofundando nesta área. Eles estão desenvolvendo um método que, ao mesmo tempo em que utiliza o CO₂ para a produção de outras moléculas de interesse, ainda ajuda a limpar a água poluída, usando a técnica denominada fotoeletrocatalise. Incrível, não é?

QUAL FOI A GRANDE PESQUISA QUE ELES ELABORARAM?

Não só a Profa. Dr. Juliana Ferreira de Brito, como outros professores de diferentes grupos de estudo da área da eletroquímica, contribuíram para a elaboração dessa pesquisa. Outros autores que ajudaram a escrever o artigo que divulga esse estudo são João Angelo Lima Perini, Pós-Doutorando Sênior (CNPq), atuando nas áreas de energia, fotoquímica, fotoeletroquímica e materiais nanoestruturados para redução de gás carbônico em compostos de valor agregado e redução da água, Siglinda Perathoner que trabalha atualmente em fotofísica, fotoquímica e sistemas supramoleculares, e por fim, a Pró-Reitora de Pós-graduação da UNESP, Maria Valnice Boldrin Zanoni. A figura abaixo mostra alguns participantes do grupo de pesquisa, o qual a professora Juliana Brito administra, que também atuam em outras pesquisas, além desta, de igual importância.



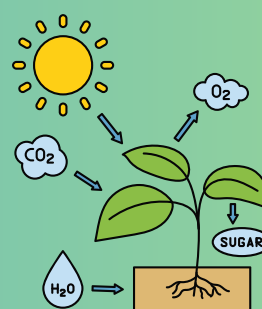
Figura 1: Integrantes do Grupo de Eletroanalítica de Araraquara (GEAr) liderados pela Prof^a Dr^a Juliana Ferreira de Brito.
Fonte: Fornecido pelo grupo de pesquisa.

E COMO SE DÁ ESSE MECANISMO?

Entendendo um pouco do significado da palavra, **foto** vem de luz, **eletro** de eletricidade e catálise é o processo em que um material atua como “ajudante” de uma reação. Então, neste processo, além deste ajudante, ou seja, o catalisador, também será necessário o uso de luz e eletricidade para transformar uma molécula em outras, as quais, geralmente, possuem grandes interesses comerciais e ambientais

Para entendermos melhor como funciona esse processo, vamos compará-lo com a fotossíntese, em que as plantas utilizam a luz solar para a transformação de uma molécula em outra por meio de seus “ajudantes” conhecidos como clorofila, isto é, o catalisador. Lembrem que comentamos que a catálise é um processo que utiliza um catalisador para a transformação de moléculas em outras que possuam algum valor?

Pois bem, neste caso, as moléculas de valor são a glicose (açúcar) que servirá como fonte de energia para as plantas e o oxigênio, essencial para a vida na Terra.



Partindo do exemplo da fotossíntese, e a comparação com a fotoeletrocatalise, que é uma reação um pouco diferente, mas que utiliza os mesmos princípios (Figura 2). Agora, na fotoeletrocatalise, em vez da clorofila existem outros materiais especiais que ajudam nesta reação: os semicondutores. Quando a luz incide sobre esses materiais, ela libera elétrons, que são partículas muito pequenas com carga elétrica negativa e fazem parte dos átomos. Os elétrons ajudam a fazer acontecer várias reações químicas. Por exemplo, cientistas da UNESP Araraquara conseguiram usar essas reações para transformar uma substância que faz mal ao meio ambiente em outras que podem ser úteis e valiosas.

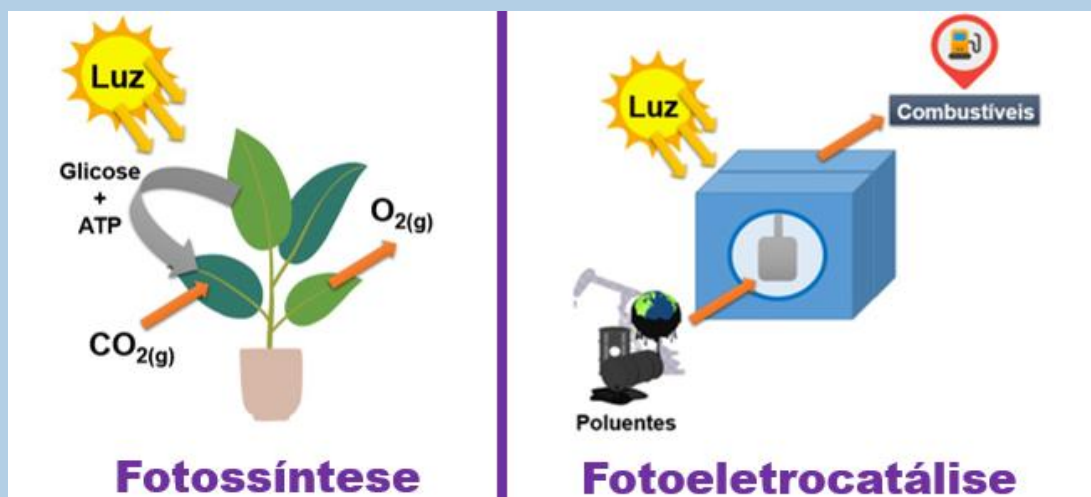


Figura 2: Comparativo entre a fotossíntese e a fotoeletrocatalise. Fonte: Elaborada pelos autores.

COMO FUNCIONA A DECOMPOSIÇÃO DE UMA MOLÉCULA ORGÂNICA POLUENTE?

Para isso, precisamos conhecer mais alguns termos da eletroquímica: célula eletroquímica e as reações de redução e oxidação, que ocorrem em seu interior quando há a presença de luz e eletricidade!

LEMBRAM-SE DA FOTOSÍNTESE?

Pois bem, naquele processo as transformações químicas ocorrem nas folhas das plantas. No entanto, nos laboratórios, as reações químicas estudadas pelos pesquisadores ocorrem em recipientes conhecidos como células eletroquímicas. Geralmente, as células eletroquímicas possuem dois compartimentos, conforme mostrado na figura abaixo.

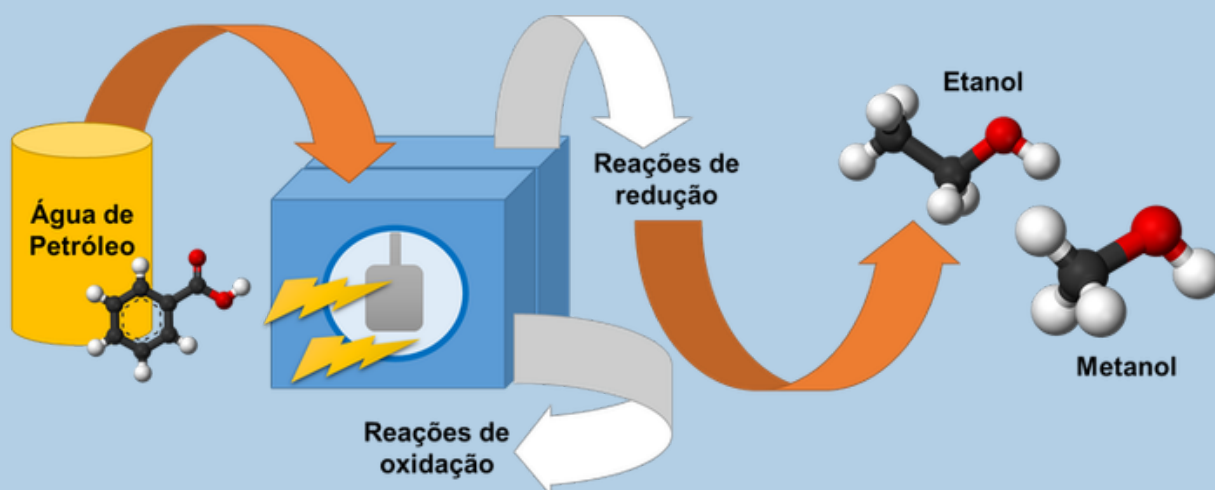


Figura 3: Esquema mostrando o funcionamento da célula eletroquímica.

Fonte: Elaborada pelos autores

Em um dos compartimentos ocorre a reação de oxidação, que utiliza a luz solar captada pelo semicondutor para a produção dos elétrons. Os elétrons, por sua vez, movimentam-se para o segundo compartimento, através do fio conector, para transformar o CO_2 em metanol e etanol. O mais interessante deste processo é que o semicondutor (“ajudante”), além de atuar na produção dos elétrons, ainda atua na despoluição da água de petróleo. Por esse motivo, o recipiente utilizado, ou seja, a célula eletroquímica, possui dois compartimentos, para que a água descontaminada e os produtos de interesse não se misturem. Ou seja, o mesmo processo de fotoeletrocatalise atua tanto na oxidação dos poluentes orgânicos (descontaminação da água de petróleo) quanto na produção de moléculas de interesse comercial (metanol e etanol) a partir do CO_2 .

MAS O QUE SÃO OS SEMICONDUTORES?

Quando a água poluída, ou água de petróleo, passar por uma fina membrana de óxido de titânio (TiO_2), essa membrana fará uma filtragem onde irão passar os elétrons e água filtrada, os carbonos, presentes no metanol e etanol, são liberados na água de petróleo ficam “presos” nessa fina membrana. Essa membrana se forma pela deposição de óxido de titânio (TiO_2) sobre o eletrodo - parte de um circuito elétrico por onde os elétrons passam, ou seja, por onde a eletricidade é levada, uma placa de titânio metálico, permitindo que ele “aprisione” os carbonos. O processo é semelhante à aplicação de esmalte nas unhas e pode ser identificado pela mudança na coloração do eletrodo, que passa do tom metálico para um efeito furta-cor.



O esgotamento dos combustíveis fósseis e a emissão de CO_2 , um dos principais gases de efeito estufa, são problemas globais que demandam soluções urgentes. A emissão de CO_2 contribui para o aquecimento global, mudanças climáticas, derretimento de geleiras, elevação do nível dos oceanos e acidificação das águas, afetando gravemente a biodiversidade, a agricultura e a saúde humana. Tecnologias como a célula eletroquímica oferecem uma alternativa promissora ao reduzir o CO_2 a combustíveis, diminuindo os efeitos negativos desse gás no ambiente.

O que poderia ser feito para esse sistema funcionar de forma ainda melhor? Uma das melhorias que poderiam ser usadas no sistema para ajudar a enfrentar os desafios ambientais seria alterar o sistema de captação de CO_2 , para que fosse possível retirar o poluente da atmosfera e utilizar como reagente nas reações de redução da célula eletroquímica. No laboratório, foi usado CO_2 armazenado em cilindros, mostrando que é possível transformar esse poluente em algo útil. Se essa tecnologia continuar avançando, poderemos depender menos de petróleo e carvão, ao mesmo tempo que reduzimos a quantidade de CO_2 no ar e ajudamos a combater as mudanças climáticas. Além disso, juntar processos como o tratamento de água com a fotoeletrocatalise pode criar uma forma mais simples e ecológica de produzir combustíveis, ajudando o planeta a ser mais sustentável.



REFERÊNCIAS

BRITO, J. F. de *et al.* Combination of photoelectrocatalysis and ozonation as a good strategy for organics oxidation and decreased toxicity in oil-produced water. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 166, n. 5, p. H3231, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0331905jes/pdf>.

BRITO, J. F. de *et al.* Turning carbon dioxide into fuel concomitantly to the photoanode-driven process of organic pollutant degradation by photoelectrocatalysis. **Electrochimica acta**, v. 306, p. 277-284, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.03.134>.

MEDINA, Marina *et al.* The substrate morphology effect for sulfur-rich amorphous molybdenum sulfide for electrochemical hydrogen evolution reaction. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 169, n. 2, p. 026519, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac5067>.

SPUTNIK BRASIL. Brasileira desenvolve método para produzir etanol a partir de água de petróleo. **Notícia Brasil**, 31 jan. 2020. Disponível em: <https://noticiabrasil.net.br/20200131/brasileira-desenvolve-metodo-para-produzir-etanol-a-partir-de-agua-de-petroleo-15081878.html>.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Eletroanalítica de Araraquara (GEAr), liderado pela Profa. Dr. Juliana Ferreira de Brito, por compartilhar conhecimento e experiências nas áreas de Eletroanalítica e Química Ambiental. Nosso reconhecimento aos pesquisadores João Ângelo Lima Perini, Siglinda Perathoner e Maria Valnice Boldrin Zanoni pelo estudo inspirador sobre a reutilização do CO₂. Também agradecemos aos mestrandos Giovanna Craveiro Marineli, Isabela Fernandes Ierick e Leonardo Lima e Silva, e à pesquisadora Marina Medina da Silva, pela valiosa revisão técnica. E, por fim, aos orientadores Profa. Dr. Fernanda Zanolli Freitas e Prof. Dr. Amadeu Moura Bego, pela orientação e todo o apoio que nos permitiu a elaboração e publicação deste material.