

Da luz ao combustível verde

Protótipo de reator aumenta conversão de energia solar em química e produz mais hidrogênio a partir da água

IGOR ZOLNERKEVIC

Uma equipe do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas, São Paulo, aumentou em oito vezes a eficiência de uma tecnologia ainda experimental chamada fotoeletrolise, que converte a energia solar em química e produz gás hidrogênio a partir da água. Os pesquisadores também desenvolveram um método de fabricação em larga escala, a partir de materiais atóxicos e baratos, do reator usado nesse processo, que foi objeto de cinco pedidos de patente.

Os resultados do trabalho foram publicados em setembro de 2025 em artigo que ganhou a capa da revista científica *ACS Energy Letters*. O experimento é mais um passo na busca por tornar viável o emprego da fotoeletrolise em aplicações industriais. O projeto é financiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com apoio da FAPESP

por meio do Centro de Pesquisa em Engenharia Molecular para Materiais Avançados (CEMol) e Centro de Inovação em Novas Energias (Cine).

O gás hidrogênio é um ingrediente essencial para a indústria química, sobretudo na fabricação de fertilizantes, e um potencial substituto dos combustíveis fósseis. A queima de 1 quilo (kg) de hidrogênio libera cerca de três vezes mais energia que a de 1 kg de gasolina, com a vantagem extra de não emitir nenhum gás de efeito estufa, apenas água. Atualmente 76% da produção mundial de hidrogênio ocorre por meio da reforma do gás metano. Esse processo libera em torno de 10 kg de dióxido de carbono (CO_2), principal gás de efeito estufa, a cada 1 kg de hidrogênio produzido. Nos últimos anos, métodos alternativos vêm sendo desenvolvidos no Brasil e no mundo para sua produção com baixas emissões de carbono, o chamado hidrogênio verde (*ver Pesquisa FAPESP nº 333*).

Uma dessas tecnologias é a eletrólise, que usa a corrente elétrica gerada

por fontes renováveis, como a energia eólica e a solar, para induzir uma reação que transforma as moléculas de água em oxigênio e hidrogênio. A eletrólise responde hoje por menos de 1% da produção global comercial de hidrogênio. A tecnologia ainda é cara, devido à infraestrutura necessária para conectar as fontes renováveis aos reatores de eletrólise e ao custo de seus componentes principais, os eletrodos, feitos de ligas metálicas.

Para reduzir esses custos, algumas linhas de pesquisa apostam em uma tecnologia que integra, em um único equipamento, a captação de energia solar e a produção de hidrogênio: a fotoeletrolise. A exemplo do reator de eletrólise, o fotoeletrolisador é composto por eletrodos, chamados de fotoânodo e fotocátodo. Quando a luz do Sol incide sobre o fotoânodo, surgem cargas positivas em sua superfície que, em contato com a água, as transformam em moléculas de oxigênio e prótons. Essas últimas partículas subatômicas são então atraídas para o fotocátodo, onde interagem com elétrons

formados por meio da irradiação solar e dão origem ao hidrogênio.

O principal obstáculo ao avanço da fotoeletrólise é a baixa eficiência dos fotoânodos. Desde 2019, o físico Flávio Leandro de Souza, da Universidade Federal do ABC (UFABC), lidera no LNNano uma equipe de cinco pesquisadores dedicada ao aprimoramento de fotoânodos feitos de hematita – um óxido de ferro, de cor âmbar, encontrado em rochas e no solo. O minério é abundante e estável em contato com a água, absorve bem a luz solar, mas normalmente é pouco eficiente em transformá-la em energia química. Para contornar essa limitação, o time liderado por Souza desenvolveu uma tinta à base de hematita e pequenas doses de alumínio e zircônio, dois elementos também abundantes no Brasil. “Com o pigmento, chegamos quase ao limite teórico do que o material pode atingir em termos de eficiência para fazer a conversão da energia solar para a química”, afirma Souza.

A equipe do LNNano pintou com a tinta de hematita 100 placas de vidro de 1 centímetro quadrado (cm²), todas com a mesma capacidade de funcionar como fotoânodos. Dez dessas placas, ligadas em série, formam metade de um protótipo

de reator, instaladas em um recipiente retangular por onde circula água, dotado de janelas transparentes para a entrada de luz. Como o foco do estudo era avaliar somente os fotoânodos, a outra metade do reator não era composta de fotocátodos, mas de eletrodos de platina padrão, acoplados a um painel solar comercial.

Os dispositivos operaram de forma estável por mais de 120 horas em laboratório, sob a luz de um simulador solar de grande área, construído pelo físico Renato Gonçalves, do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP), coautor do estudo. Dois protótipos também foram testados ao ar livre, funcionando ao longo de um dia inteiro de sol. Durante os experimentos, os pesquisadores coletaram amostras e realizaram análises de toxicidade, concluindo que a água do reator pode ser descartada com segurança, sem nenhum tratamento especial.

“O trabalho do LNNano enfrenta um dos principais gargalos da área: a transição da pesquisa em laboratório para a

construção de dispositivos escaláveis, estáveis e ambientalmente seguros”, avalia o físico Heberton Wender, que pesquisa fotoeletrólise na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e não participou do estudo. Ele também destaca como o uso de vários fotoânodos pequenos, em vez de um único de área maior, melhora a coleta de cargas elétricas no dispositivo. “Essa arquitetura modular eleva o nível de maturidade da tecnologia.”

Souza conta que o próximo passo da pesquisa será montar um protótipo totalmente independente de painéis solares, com 10 fotoânodos de hematita e 10 fotocátodos de óxido de cobre fabricados pelo mesmo método, ainda no primeiro semestre de 2026. De acordo com o pesquisador, a fotoeletrólise pode ser uma alternativa de baixo custo para a produção de hidrogênio verde em aplicações que não precisem de grandes volumes do gás. “Em vez de produzir, envasar e transportar hidrogênio, seria possível instalar estações de fotoeletrólise nos locais onde a indústria precisa dele como insumo”, explica o pesquisador do CNPEM. ●

O projeto e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Teste com reator de fotoeletrólise desenvolvido pelo CNPEM

