



QUÍMICA TECNOLÓGICA E AMBIENTAL

PROJETO 4 - CÉLULAS SOLARES

Gabriel Mitelman Tkacz

Insper Instituto de Ensino e Pesquisa
São Paulo, novembro de 2021

1. IMPORTÂNCIA E CONTEXTO DA ENERGIA SOLAR

As novas ondas da pandemia estão prolongando as restrições ao movimento e continuam a afetar a demanda global de energia. Segundo estudos realizados pela Agência Internacional de Energia (IEA) a demanda global de energia deve aumentar cerca de 4,6% em 2021, compensando a contração de 4% em 2020 e expandindo a demanda 0,5% acima dos níveis de 2019. Quase 70% do aumento projetado na demanda global de energia ocorre em mercados emergentes e economias em desenvolvimento, onde a demanda deverá aumentar para cerca de 3,4% acima dos níveis de 2019, em contrapartida o uso de energia em economias desenvolvidas deve ficar 3% abaixo dos níveis anteriores à pandemia. Ainda segundo a IEA, a demanda por todos os combustíveis fósseis deve crescer significativamente em 2021; a demanda somente de carvão deve aumentar em cerca de 60% mais do que todas as energias renováveis combinadas, sustentando um aumento nas emissões de CO₂ de quase 5%. Esse aumento esperado reverteria em 8% a queda em 2020, com as emissões terminando apenas 1,2% abaixo dos níveis de emissões de 2019. Apesar de um aumento anual esperado de 6,2% em 2021, a demanda global de petróleo deve permanecer cerca de 3% abaixo dos níveis de 2019. A demanda de energia à base de carvão deve crescer 4,5% em 2021, com mais de 80% do crescimento concentrado na Ásia.

O impacto mais relevante do uso de fontes de energia não renováveis é a emissão de gases de efeito estufa, em particular dióxido de carbono (CO₂) e metano, que contribuem para as mudanças climáticas. Diferentes tipos de combustíveis de energia não renováveis emitem diferentes níveis de gases de efeito estufa. Por exemplo, nos EUA, o carvão, que é considerado o pior emissor de dióxido de carbono, foi responsável por cerca de 71% das emissões de CO₂ do setor de energia elétrica calculadas em 2015. Enquanto, por exemplo, o gás natural produziu cerca de 28% das emissões de CO₂ no mesmo período. As emissões globais de CO₂ diminuíram 5,8% em 2020, ou quase 2 gigatoneladas, a maior queda de todos os tempos e quase cinco vezes maior do que a queda de 2009 que se deu devido à crise financeira global. As emissões de CO₂ caíram mais do que a demanda de energia em 2020 devido à pandemia, que impactou a demanda por petróleo e carvão com mais força do que outras fontes de energia, enquanto as energias renováveis aumentaram. Apesar do declínio em 2020, as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia permaneceram em 31,5 gigatoneladas, o que contribuiu para que o CO₂ atingisse sua maior concentração média anual na atmosfera de 412,5 ppm em 2020, cerca de 50% maior do que quando a revolução industrial começou. Em 2021, as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia devem se recuperar e crescer 4,8%, conforme a demanda por carvão, petróleo e gás se recupere com a economia.

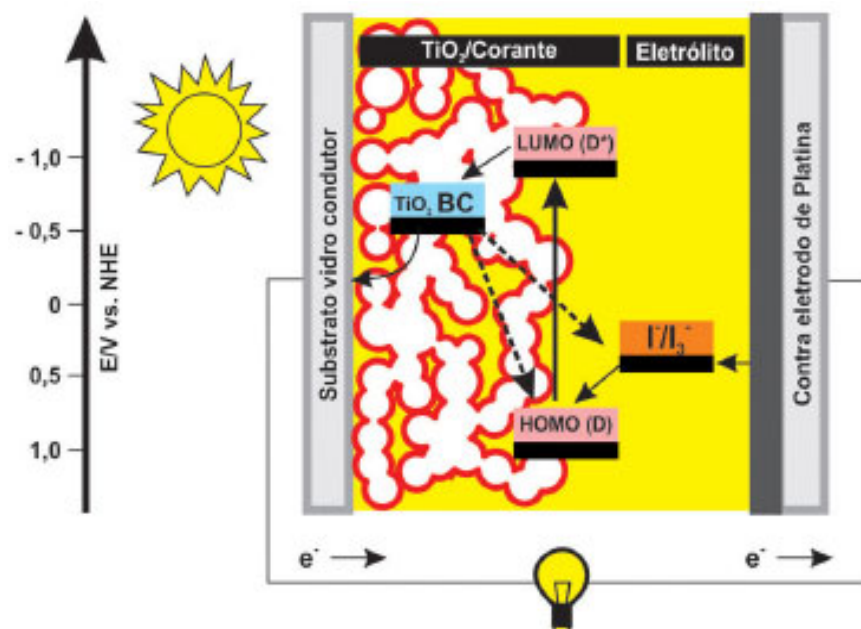
Não há como negar a importância da energia solar para o futuro. O retorno sobre o investimento da energia solar é impactante, e não apenas financeiramente, mas pelo bem da saúde pública e da sustentabilidade ambiental. A cada ano que passa, a energia solar se torna mais popular para proprietários de residências e empresas, à medida que as pessoas aprendem seus muitos benefícios e os custos de instalação diminuem. Talvez o maior argumento a favor do uso de energia solar seja o fato de ser uma fonte de energia sustentável. Isso significa que você não está consumindo recursos de que as gerações futuras precisarão, e, ao mesmo tempo, você está diminuindo o impacto do seu uso de energia no meio ambiente. Essa é uma situação

clara em que todos ganham. No entanto, a instalação de painéis solares permanece relativamente cara, e nem todas as residências são boas candidatas a depender da energia solar. Depois de suprir os custos de instalação dos painéis solares, eles trabalham rapidamente no sentido de se repagarem: os painéis solares podem durar 25 anos ou mais e geram lucro quase todo mês. Em média, os proprietários que instalam painéis solares têm um ponto de equilíbrio entre 6 e 10 anos. A partir daí, essas poupanças podem ir direto para suas contas bancárias. Depois de instalar os painéis solares, não se deve ter que pensar muito neles; dependendo de sua localização e se há muitos galhos e folhas que podem se acumular no topo dos painéis, o maior trabalho pode ser ocasionalmente limpá-los, embora a chuva e a neve também possam resolver o problema. Como não se precisa depender de fontes de energia tradicionais, é possível alimentar sua residência totalmente com sua própria energia solar. Se você usar menos energia do que seus painéis solares acumulam, poderá vendê-la de volta à rede pública, algo conhecido como medição líquida. Olhando para além disso, esta é uma forma de contribuir com a rede, reduzir o desgaste da demanda de eletricidade e ajudar ainda mais o meio ambiente, reduzindo a necessidade de importar fontes de energia não renováveis para a comunidade. Sendo assim, porque todos não usam energia solar? Bom, primeiramente custa-se em média R\$8000 para instalar um sistema solar de 6kW. Ademais, embora as preocupações ambientais relacionadas à painéis solares estejam sendo resolvidas, com sinais de progresso nos próximos anos, a quantidade de gases de efeito estufa nocivos liberados durante a fabricação de painéis solares é notável. Da mesma forma, não existem métodos difundidos para a reciclagem de painéis solares descartados. E, finalmente, a energia solar depende da... luz solar. Se uma residência não recebe luz solar adequada, seja por causa do clima ou sombra artificial, os painéis solares podem não ser uma opção viável. As baterias que armazenam energia solar também podem ajudar a compensar o risco de luz solar limitada, especialmente se o clima for uma preocupação. O problema com isso é que as baterias usadas para essa aplicação ainda são consideravelmente caras e grandes. Quanto mais energia se precisar, maior deverá ser a bateria. Instalar essas baterias não é fácil e requer a ajuda de um eletricitista licenciado para garantir que a energia possa ser armazenada e depois convertida em corrente alternada para uso em uma residência. Em média, uma solução de armazenamento de energia solar de um dos principais instaladores solares custa mais de R\$5.000 dependendo do tamanho, adicionando uma grande quantidade ao preço já alto dos painéis solares.

2. PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS DE CÉLULAS SOLARES

Uma célula solar sensibilizada por corantes é uma célula solar de baixo custo e de filme fino. É composta de uma camada porosa de nanopartículas de dióxido de titânio, recoberta por um corante molecular que absorve a luz do sol, como a clorofila das folhas verdes. O dióxido de titânio é imerso em uma solução eletrolítica, acima da qual está um catalisador à base de platina. Como em uma bateria alcalina convencional, um ânodo (o dióxido de titânio) e um cátodo (a platina) são colocados em cada lado de um condutor líquido (o eletrólito). Então, a luz solar passa através do eletrodo transparente para a camada de tinta, onde pode excitar elétrons que então fluem para a banda de condução do semicondutor tipo n, normalmente o dióxido de titânio. Os elétrons do dióxido de titânio então fluem em direção ao eletrodo transparente,

onde são coletados para alimentar uma carga. Depois de fluir pelo circuito externo, eles são reintroduzidos na célula em um dos eletrodos de metal na parte traseira, também conhecido como contra-eletrodo, e fluem para o eletrólito. O eletrólito então transporta os elétrons de volta para as moléculas do corante e regenera o corante oxidado. As moléculas do corante são bem pequenas (tamanho nanométrico), portanto, para capturar uma quantidade razoável da luz que entra, a camada das moléculas do corante precisa ser bem espessa, chegando a ser mais espessa do que as próprias moléculas. Para resolver esse problema, um nanomaterial é usado como um andaime para manter um grande número de moléculas de corante em uma matriz 3D, aumentando o número de moléculas disponíveis para qualquer área da superfície da célula.

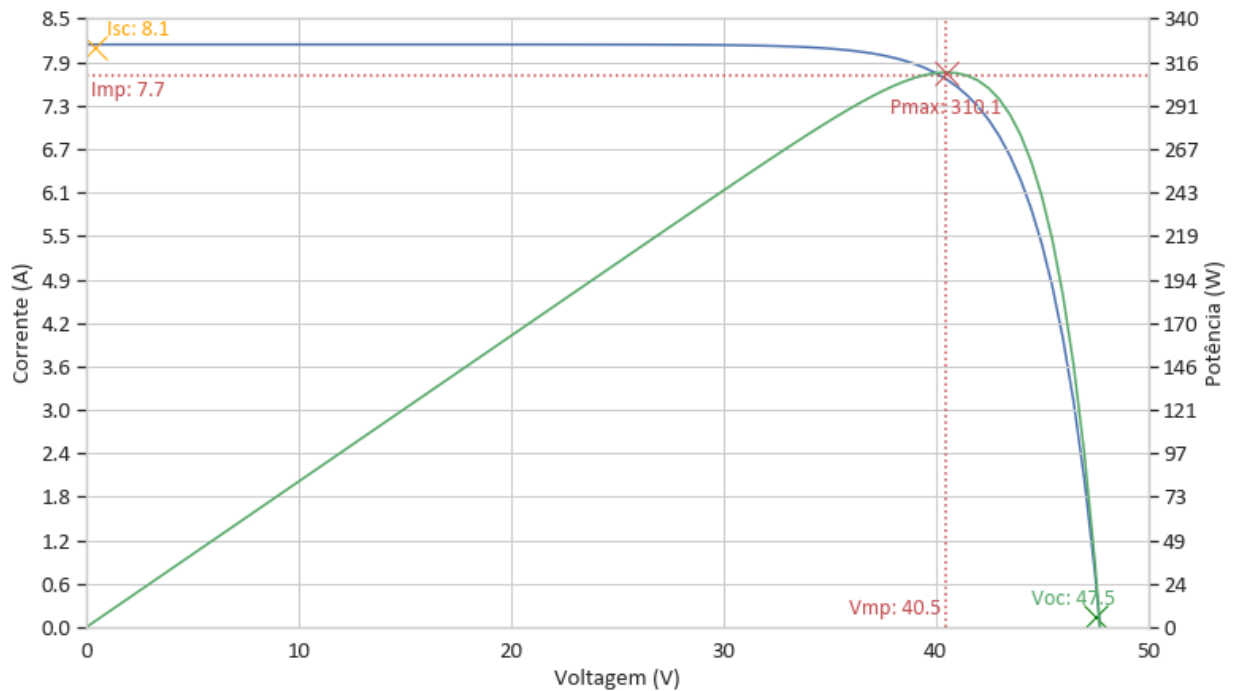


Então o processo, resumidamente, consiste em:

- O fóton incidente é absorvido pelo fotossensibilizador adsorvido na superfície de TiO_2 .
- Os fotossensibilizadores são convertidos do estado elementar (D) para o estado excitado (D^*), então os elétrons excitados são injetados na banda de condução do eletrodo de TiO_2 , resultando na oxidação do fotossensibilizador.
- Os elétrons injetados na banda de condução de TiO_2 são transportados entre nanopartículas de TiO_2 através de difusão em direção ao *back contact* (BC), e os elétrons finalmente alcançam o contra-eletródo através do circuito.
- O fotossensibilizador oxidado (D^*) recebe elétrons do mediador, levando à regeneração do estado fundamental dos fotossensibilizadores (D), e dois íons I são oxidados ao iodo elementar que reage com I^- ao oxidado estado, I_3^- .
- O mediador oxidado, I_3^- , se difunde em direção ao contra-eletródo e então é reduzido a íons I^- .

A eficiência de uma célula solar sensibilizada por corantes depende de quatro níveis de energia do componente: o estado excitado (LUMO) e o estado fundamental do fotossensibilizador (HOMO), o nível de Fermi do eletrodo de TiO_2 e o potencial de oxirredução do mediador (I^-/I_3^-) no eletrólito.

3. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO



A caracterização por curvas I_xV consiste em analisar as curvas I_xV e P_xV da célula solar, sendo I_xV o gráfico que relaciona a corrente (I) e a tensão de saída (V) do módulo fotovoltaico, enquanto a curva P_xV é o gráfico que relaciona a potência (P) e a tensão (V) de saída do módulo. A I_{sc} é a máxima corrente elétrica que o módulo pode fornecer. O V_{oc} é a máxima tensão que o módulo pode fornecer. A I_{mp} é a corrente que o módulo fornece quando opera no seu ponto de máxima potência. A V_{mp} é a tensão que o módulo apresenta nos seus terminais quando opera no seu ponto de máxima potência. A P_{max} é a potência de pico do módulo fotovoltaico. Todos estes valores podem ser extraídos das leituras da placa fotovoltaica. A partir de tais valores, da incidência de luz (P_{light}) e da área da placa (A_{cell}), é possível calcular o fator de preenchimento (FF) e a eficiência (η) da mesma. FF se dá por $100 \times \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$, enquanto a eficiência se dá por

$$\eta = 100 \times \frac{\frac{P_{max}}{A_{cell}}}{P_{light}}.$$

A espectroscopia laser pode ser usada para caracterizar todos os materiais fotovoltaicos, incluindo os baseados em Si, CIGS, CdTe, orgânicos e III-Vs. Esta técnica pode ser utilizada para achar a fração de liga, eficiência eletrônica, tensão/estresse, espessura de filme fino, tipo e orientação de estruturas cristalinas, qualidade de cristal, uniformidade e pureza da amostra (por exemplo, defeitos e contaminantes) nas placas solares. Dispositivos de todos os tamanhos podem ser estudados, com uma variedade de opções e até mesmo soluções personalizadas e microscópios de espaço livre para os

dispositivos maiores. Isso significa que produtos de qualquer tamanho podem ser estudados como módulos completos em seu estado acabado.

4. BIBLIOGRAFIA

- Global Energy Review 2021. International Energy Agency. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.
- Non-Renewable Energy. National Geographic Society. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/non-renewable-energy/>>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.
- JAIN, Suresh. ENVIRONMENT IMPACTS OF ENERGY SECTOR (NON-RENEWABLE). TERI University. Disponível em: <http://iced.cag.gov.in/wp-content/uploads/Environmental-impacts-of-Non-renewable-energy-sector_SJain.pdf>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.
- Custos Energia Solar. Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html>>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.
- Challenges of Solar Energy Storage. MKPowered. Disponível em: <<https://www.mkbattery.com/blog/challenges-solar-energy-storage>>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.
- HARA, Kohjiro; ARAKAWA, Hironori (2005). "Dye-Sensitized Solar Cells". Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. pp. 663–700.
- HAMANN, Thomas W; JENSEN, Rebecca A; MARTINSON, Alex. F; VAN RYSWYK, Hal; HUPP, Joseph T (2008). "Advancing beyond current generation dye-sensitized solar cells". *Energy & Environmental Science*. pp. 66–78.
- Characterization techniques for dye-sensitized solar cells. Uppsala University. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ee/c6ee02732f>>. Acesso em: 27 de novembro de 2021.