

## **XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

### **ESTUDO DA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR ELETRÓLISE ALCALINA A PARTIR DE FONTE DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Débora Carvalho Furlan – PIVICT/IFSP<sup>1</sup>

Prof. Msc. Iberê de Oliveira Santos - IFSP<sup>2</sup>

#### **Introdução**

A crescente necessidade de transição para fontes de energia limpa impulsionou pesquisas voltadas à produção de energia elétrica com baixo impacto ambiental. Diante disso, este projeto tem como foco a viabilidade da produção de hidrogênio por rota tecnológica isenta de carbono, via processo de eletrólise alcalina da água, utilizando fonte de energia fotovoltaica. Tal abordagem integra tecnologias promissoras para a descarbonização, alinhando-se às metas estabelecidas no Acordo de Paris (COP 21) de conter o aquecimento global em até 1,5 °C.

O estudo surgiu como resposta à demanda por soluções energéticas sustentáveis que substituam combustíveis fósseis — responsáveis por 96% da produção global de hidrogênio, segundo a EIA (2019).

#### **Objetivo**

O objetivo geral consiste em explorar a rota tecnológica de produção do hidrogênio a partir da eletrólise alcalina, tendo como fonte energética a energia fotovoltaica, o assim chamado “hidrogênio verde”, como alternativa para diferentes aplicações industriais e de geração de energia elétrica. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudo da tecnologia de produção de hidrogênio via eletrólise da água;
- Dimensionamento de eletrolisadores e sistemas fotovoltaicos;
- Construção de um protótipo experimental de sistema eletrolisador alcalino com fonte de energia fotovoltaica;
- Avaliação da eficiência do sistema proposto com relação ao modelo teórico;

#### **Metodologia**

A metodologia adotada se dividiu em etapas de pesquisa bibliográfica, visitas técnicas e atividades práticas de construção e análise do sistema experimental. Dentre as atividades destacam-se:

- Levantamento teórico sobre produção de hidrogênio, eletrólise e energia fotovoltaica;
- Definição de premissas para o dimensionamento dos sistemas;
- Construção do protótipo de eletrolisador e reservatório de hidrogênio;
- Realização de experimentos para avaliar a eficiência de produção do hidrogênio com relação ao modelo teórico e os possíveis parâmetros intervenientes dessa eficiência

---

<sup>1</sup> Estudante do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFSP – campus Itaquaquecetuba/SP. E-mail do primeiro autor: furlan.carvalho@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Mestrado acadêmico. IFSP – campus Itaquaquecetuba/SP. E-mail do autor: ibere.santos@ifsp.edu.br.

## **XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Câmpus Itapetininga*

### **Resultados**

O hidrogênio verde é produzido sem emissões de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), e outros gases de efeito estufa à atmosfera, utilizando fonte de energia renovável, como eólica e solar, através do processo de eletrolise da água. O processo de geração de hidrogênio por eletrólise é um método conhecido desde o início do século passado (Santos & Sequeira, 2009). Existem diversas tecnologias para a produção de hidrogênio por eletrólise, tais como: eletrólise alcalina, membrana de troca de próton, células eletrolíticas de óxido sólido e membrana de troca aniônica (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2022). Dentre essas técnicas, a eletrólise alcalina se destaca por seu custo competitivo, com eficiência atual de 50-60%, que pode alcançar 60-65% até 2030 mediante avanços tecnológicos (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019). Essa eficiência refere-se à eficiência energética do processo, ou seja, à proporção da energia elétrica consumida que é efetivamente convertida em energia química no hidrogênio gerado, desconsiderando perdas térmicas e outras ineficiências do sistema.

A eletrólise da água é uma técnica consagrada para essa produção, em que a molécula de água é separada em oxigênio e hidrogênio por meio de corrente elétrica. Apesar de ser considerada uma via limpa para obtenção de hidrogênio, com alto grau de pureza, a eletrólise ainda exige um elevado consumo de energia elétrica. Entre os diferentes tipos de eletrólise existentes, destaca-se a eletrólise alcalina, que é uma das formas mais utilizadas e desenvolvidas atualmente. Esse tipo de eletrólise utiliza uma solução alcalina (como hidróxido de potássio – KOH) como meio condutor, sendo reconhecida por sua boa eficiência energética e viabilidade técnica para aplicações em escala industrial (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019; INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2022).

Assim, as tecnologias relacionadas ao hidrogênio verde são reconhecidas como alternativas viáveis aos combustíveis fósseis, devido à sua capacidade de reduzir significativamente as emissões locais de poluentes (BENNET, 2019). Além disso, o hidrogênio apresenta um poder calorífico massivo aproximadamente três vezes maior (120 MJ/kg) que o do gás natural (50 MJ/kg), gasolina (44 MJ/kg) e diesel (45 MJ/kg), o que justifica o crescente interesse por sua aplicação energética (U.S. DOE, 2023).

O princípio que rege a energia fotovoltaica é o aproveitamento da energia das ondas eletromagnéticas provenientes do sol para a liberação do elétron da camada de valência dos átomos de material semicondutor - silício, com base no “efeito fotovoltaico”, seguido de direcionamento desses elétrons livres em circuito elétrico para geração de corrente elétrica. A eficiência do sistema fotovoltaico é influenciada pela irradiância solar incidente na localidade, posicionamento dos painéis fotovoltaicos com relação ao Norte geográfico e plano horizontal, assim como temperatura e tecnologia dos diferentes modelos de células e painéis fotovoltaicos.

O projeto desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus Itaquaquecetuba (IFSP-ITQ) atingiu seu principal objetivo ao implementar e testar com sucesso um sistema integrado de geração de hidrogênio verde, composto por painel fotovoltaico, eletrolisador alcalino e reservatório de armazenamento. A efetiva produção de hidrogênio foi demonstrada mesmo sob condições de insolação subótima – por conta do clima nublado e horário ao entardecer, que reduz a potência, e a corrente disponível para o eletrolisador, confirmando a viabilidade técnica do sistema. Contudo, a

## **XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

comparação entre os resultados experimentais e o modelo matemático proposto revelou um rendimento inferior ao esperado, atribuído principalmente à baixa densidade de corrente em relação ao valor sugerido na literatura. Esses achados sugerem a possibilidade de otimização, em estudos futuros, de parâmetros como área dos eletrodos, seleção de materiais e controle térmico do eletrólito, fatores críticos para a eficiência da eletrólise (CARMO et al., 2013).

A célula eletrolítica foi construída seguindo metodologia adaptada de Palhares (2016), com volume útil de 15 dm<sup>3</sup> e equipada com uma membrana separadora em acrílico para evitar a recombinação dos gases. Os eletrodos foram fabricados em aço inoxidável AISI 304, material escolhido por sua resistência à corrosão em meios alcalinos (YU; LI; SUN, 2016), fixados por soldagem em barras cilíndricas do mesmo material. A solução eletrolítica empregada consistiu em água destilada e hidróxido de potássio (KOH) a 37% (6,6 mol/L), concentração que equilibra condutividade iônica e estabilidade química (ZHANG, 2010). O sistema de vedação, utilizando silicone, garantiu estanqueidade mesmo sob pressões moderadas.

Para armazenamento, foi desenvolvido um reservatório em acrílico com volume útil de 13 dm<sup>3</sup>, dotado de escala métrica para medição indireta do volume de hidrogênio via deslocamento de água. No decorrer do experimento foram constatadas inadequações na forma construtiva adotada, que comprometeu a funcionalidade pretendida do reservatório em mensurar o volume de gás produzido, com ajuda de régua graduada posicionada nas paredes do reservatório, problema que poderia ser mitigado com a adoção de um gasômetro – solução proposta para trabalhos futuros, pois permite melhor controle de pressão e segurança (SCHMIDT et al., 2017).

A alimentação elétrica foi fornecida por uma fonte Minipa MPS-3005B (30 V/5 A). Para dois níveis de corrente utilizadas, de 3A e 5A, foi obtida uma taxa de produção de hidrogênio de 10,1 ml/min e 30 ml/min, respectivamente. Comparando-se a taxa de produção efetiva com a previsão segundo modelo matemático, qual seja 22,8 ml/min (corrente 3A) e 38 ml/min (corrente 5A), obtêm-se uma eficiência relativa de produção de 44,3% e 78,9%, respectivamente, com relação ao modelo matemático. A densidade de corrente utilizada experimentalmente (30–50 A/m<sup>2</sup>) foi significativamente menor que a faixa ideal (1000–3000 A/m<sup>2</sup>) indicada na literatura, sugerindo uma possível explicação para as eficiências obtidas. O projeto validou o potencial da integração fotovoltaico-eletrólise para produção de hidrogênio verde, e identificou aspectos interessantes para investigação experimental em trabalhos futuros:

1. **Eficiência:** Investigação da influência de parâmetros que podem influenciar de maneira relevante a eficiência do sistema, tais como (i) materiais dos eletrodos (e.g., revestimento com níquel ou ligas de Ni-Co), que reduzem o sobre potencial (LI et al., 2024), ou diferentes valores de densidade de potência (ZHANG, 2010).
2. **Armazenamento:** utilização de gasômetro ou tanques metálicos com regulagem de pressão para armazenamento e controle de produção do hidrogênio.
3. **Escalonamento:** Estudo de viabilidade econômica de sistemas acima de 10 kW, que, segundo o sugerido pela literatura, tornam-se competitivos (IRENA, 2020).

## XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

### Considerações finais

O projeto confirmou o potencial da integração entre sistemas fotovoltaicos e a eletrólise da água para a produção de hidrogênio verde, evidenciando sua viabilidade como alternativa sustentável de geração de energia. Durante o desenvolvimento, foram identificados aspectos relevantes para aprofundamento em trabalhos futuros, como a otimização da eficiência do sistema a partir da escolha de materiais e parâmetros operacionais, o desenvolvimento de estratégias adequadas para o armazenamento seguro do hidrogênio e a análise da viabilidade econômica para escalonamento de plantas em maior escala. Essas frentes de estudo representam oportunidades promissoras para fortalecer ainda mais a aplicação prática da tecnologia e impulsionar sua contribuição para a transição energética.

### Referências

- BENNETT S., REMME U. **The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities**. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- BUTTLER, A.; SPLIETHOFF, H. **Current status of water electrolysis for energy storage**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 2440-2454, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211731242X>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- CARMO, M. et al. **A comprehensive review on PEM water electrolysis**. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 38, n. 12, p. 4901-4934, 2013. Disponível em: <http://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319913002607>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- PALHARES, D. D. F. **Produção de hidrogênio por eletrólise alcalina da água e energia solar**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21286/1/Produ%C3%A7%C3%A3oHidrog%C3%A3oEletr%C3%B3lise.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- YU, F.; LI, F.; SUN, L. **Stainless steel as an efficient electrocatalyst for water oxidation in alkaline media**. *International Journal of Hydrogen Energy* v. 41, n. 4, p. 2731-2739, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319915302640>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- ZHANG, D.; ZENG, K. **Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications**. *Progress in Energy and Combustion Science*, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 307-326, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360128509000598>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- FRENSCH, S. H. et al. **Influence of membrane thickness on process efficiency in PEM water electrolysis**. *International Journal of Hydrogen Energy*, [S. l.], v. 44, n. 57, p. 30171-30186, 2019. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/influence-of-the-operation-mode-on-pem-water-electrolysis-degrada>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- FSC BRASIL. **A COP21: uma conferência sobre mudanças climáticas**. *Forest Stewardship Council (FSC)*, [S. l.], [2015]. Disponível em: <https://br.fsc.org/br-pt/newsfeed/a-cop21-uma-conferencia-sobre-mudancas-climatica>. Acesso em: 2 jun. 2024.

## XI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 27, 28 e 29 de maio de 2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part I — Trade Outlook for 2050 and Way Forward**. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/May/Global-hydrogen-trade>. Acesso em: 2 jun. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers**. Abu Dhabi: IRENA, 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>. Acesso em: 2 jun. 2024.

LI, C. et al. **Performance Optimization of Alkaline Water Electrolysis Via Catalyst Morphology Tuning and Novel Cell Design**. [S.l.], 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/383254722\\_Performance\\_Optimization\\_of\\_Alkaline\\_Water\\_Electrolysis\\_Via\\_Catalyst\\_Morphology\\_Tuning\\_and\\_Novel\\_Cell\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/383254722_Performance_Optimization_of_Alkaline_Water_Electrolysis_Via_Catalyst_Morphology_Tuning_and_Novel_Cell_Design). Acesso em: 6 jun. 2024.

SANTOS, D. M. F.; SEQUEIRA, C. A. C. **Hydrogen production by alkaline water electrolysis: Historical perspective and future trends**. Journal of Energy and Power Engineering, v. 3, n. 6, p. 1-12, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jqn/a/KyQvF9DMHK6ZJXyL5zQNY7N/?lang=en> Acesso em: 2 jun. 2024.

SCHMIDT, O. et al. **Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study**. International Journal of Hydrogen Energy, v. 42, n. 52, p. 30470-30492, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319917339435>. Acesso em: 2 jun. 2024.

SILVA S. et al. **Advanced materials for hydrogen energy and fuel cells**. Office of Scientific and Technical Information (OSTI), [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21472355>. Acesso em: 2 jun. 2024.

U.S. Energy Information Administration (EIA). **Annual Energy Outlook 2019**. [S.l.]: EIA, 2019. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>. Acesso em: 6 jun. 2024.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Hydrogen Fuel Basics**, 2023 Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-fuel-basics>. Acesso em: 17 jun. 2024.