

GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE PARA A SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Autor: Sérgio Moreira Moura¹

Autor: Lucas Garcia da Silva¹

Autor: Felipe Nunes Moreira¹

Autor: Maria Elisa Martins Souza¹

Autor: Karine de Souza Ferreira¹

Orientador: Adriano Machado dos Santos¹

Orientador: Bruna Moraes de Melo¹

Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA¹

RESUMO

Diante dos desafios da poluição e das mudanças climáticas, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo para produção e uso de hidrogênio verde por eletrólise da água alimentada por energia solar. A pesquisa cobre a fundamentação eletroquímica, o detalhamento técnico do protótipo e a comparação de sua eficiência energética com combustíveis fósseis (diesel e GLP), além de analisar os requisitos normativos e regulatórios aplicáveis no Brasil, com destaque para o INMETRO e a RenovaBio. Com base nos ensaios experimentais, demonstra-se a viabilidade técnica, e a viabilidade econômica para substituição parcial em caldeiras industriais, ressaltando o potencial estratégico do Brasil, favorecido por abundantes recursos solares e eólicos, para contribuir na descarbonização da matriz energética nacional.

Palavras-chave: Hidrogênio verde; eletrólise da água; energia renovável; combustíveis alternativos.

INTRODUÇÃO

Perante o avanço da poluição e do aquecimento global, é urgente adotar medidas sustentáveis para preservar o equilíbrio ambiental. Nesse cenário, o hidrogênio produzido a partir de fontes renováveis, o hidrogênio verde, apresenta-se como alternativa promissora pela sua elevada densidade energética, embora ainda seja limitado pelos custos de produção e pela avaliação da metodologia conforme a viabilidade ambiental e econômica.

O Brasil, com grande potencial solar e eólico, é favorável à produção, tornando a solução relevante para indústrias de médio e grande porte. Este estudo propõe e analisa um projeto de geração e combustão de hidrogênio verde, descrevendo o protótipo (eletrólise alimentada por painéis solares), seu funcionamento, a fundamentação teórica e a viabilidade da substituição parcial de combustíveis fósseis em caldeiras, além do potencial de mercado no Brasil.

No protótipo, a eletrólise dissocia H_2 e O_2 , e, segundo Braga (2015), gerar 1 kg de hidrogênio verde demanda cerca de 58 kWh ($\approx 1/3$ do consumo mensal médio residencial). O gás segue para um Fuel Cell Stack, onde a oxidação anódica ($H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$) e a redução catódica ($\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$), mediadas por catalisadores, convertem energia química em elétrica. Na combustão ($2H_2 + O_2$), acionada por ignitor elétrico, há liberação de calor, temperaturas próximas de $2400^\circ C$ e ≈ 120.000 J/g de H_2 , gerando vapor-d'água passível de reaproveitamento na eletrólise. Por fim, a substituição exige planejamento e segurança: dimensionamento correto, manutenção, ventilação, sensores, tanques adequados e dispositivos de alívio de pressão.

Partindo do poder calorífico do hidrogênio e do consumo médio em caldeiras (modelo M3P-2.0), calculou-se a demanda energética de cada combustível:

Tabela 1. Comparativos Combustíveis

Combustíveis	Diesel	GLP	Hidrogênio PCI	Hidrogênio PCS
Consumo (Kg/h)	144	130	50,36	42,60
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	10.260,00	11.025,00	28.900,00	34.159,00
Consumo Energético	1.717,00	11.066,00	2.920,88	2.470,80

Fonte: Autor

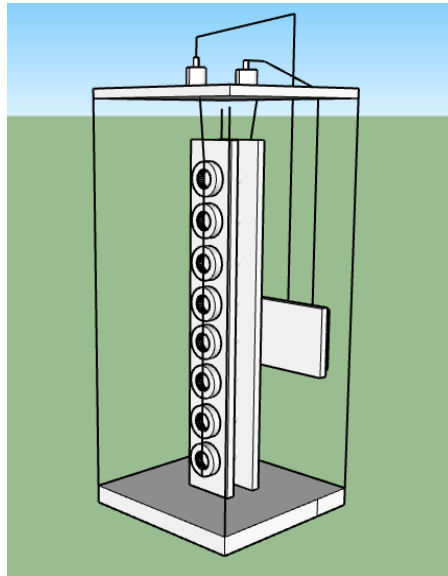
Ou seja, é necessário 2.470,80 Kwh para produzir em média 42,60 Kg/h, para caldeiras com recuperação por condensação e para caldeiras convencionais é necessário 2.920,88 Kwh para produzir em média 50,36 Kg/h.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com base no fluxograma e no método de melhoria propostos, desenvolvemos um protótipo para validar a eficiência do sistema e coletar dados para avaliar sua aplicação em caldeiras. O arranjo experimental usa células eletroquímicas com eletrodos metálicos conectados em série, imersos em solução de água com hidróxido de potássio (KOH), que aumenta a condutividade iônica e, ao evitar íons cloreto, reduz o risco de evolução de gás cloro. O sistema, alimentado por um painel solar externo, fornece corrente para dissociar a água; o hidrogênio produzido é coletado para queima. Ressaltam-se as precauções: materiais e vedantes resistentes à corrosão,

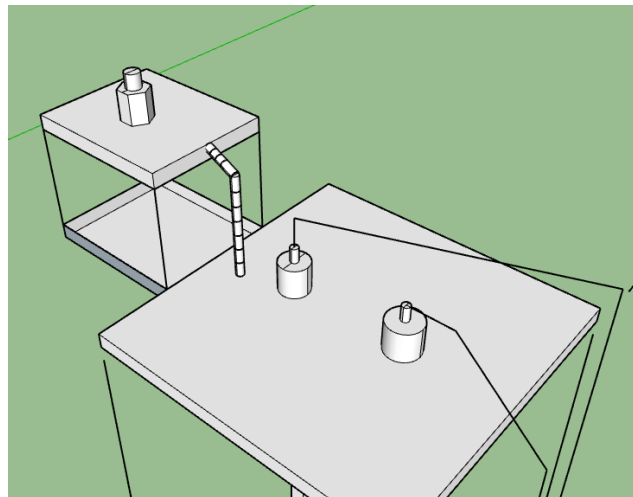
procedimentos de manuseio e descarte adequados e dispositivos de segurança para evitar vazamentos e controlar pressões.

Figura 1. Projeto em Visão Isométrica da fonte geradora de Hidrogênio.



Fonte: Autor

Figura 2. Projeto em Visão Isométrica da fonte geradora de Hidrogênio.



Fonte: Autor

Nessas imagens é mostrado o protótipo para geração e queima de hidrogênio em pequena escala, com um pequeno quadrado superior onde o gás é captado e liberado em pequenas quantidades para combustão. Para sua construção foram utilizados: 2 barras de metal; 1 m de fio de cobre; 1 suporte metálico; 1 L de água; 2 caixas transparentes de polímero; 100 g de KOH; tubo plástico; 1 isqueiro; conectores

macho/fêmea; e 1 mini painel solar. Com o protótipo montado e os ensaios realizados, foram coletados dados sobre produção, poder calorífico e eficiência de conversão energética; paralelamente, investigará-se a dinâmica de comercialização do hidrogênio verde e a viabilidade mercadológica do protótipo. Todos os dados e a análise crítica serão apresentados na seção de resultados.

RESULTADOS

O protótipo de eletrólise com energia solar permitiu avaliar a viabilidade técnica do processo, em que barras metálicas e solução de KOH facilitaram a dissociação da água, gerando H₂ e O. Considerando os consumos de diesel e GLP, obteve-se um valor médio de 1.455.345 kcal/h, que, ao ser comparado ao PCI e PCS do hidrogênio, indica a necessidade de 50,36 kg/h ou 42,60 kg/h de H₂ para substituição. Contudo, a produção dessa massa exige elevado consumo elétrico (≈2.920,88 kWh a 2.470,80 kWh), demandando milhares de módulos solares e extensa área de instalação, o que encarece sua aplicação em escala industrial. Os testes do protótipo mostraram combustão próxima de 2.400 °C, confirmando o alto poder energético do H₂. Em síntese, embora apresente vantagens ambientais e elevado potencial, a substituição integral ainda enfrenta barreiras energéticas, econômicas e logísticas, além de depender do atendimento a normas nacionais e internacionais como RenovaBio, INMETRO/ABNT e ISO/IEC.

CONCLUSÃO

Embora o hidrogênio apresente vantagem ambiental e elevada eficiência energética na queima, sua produção ainda consome muita energia, limitando a aplicação em larga escala. Produzi-lo a partir de fontes renováveis torna o processo mais atraente no médio e longo prazo e ajuda a reduzir as emissões de CO₂, como observa MANYIKA et al. (2013), energias renováveis provêm de fontes continuamente reabastecidas (sol, vento, cursos d'água). O Brasil conta com instrumentos que estimulam essa transição, como o RenovaBio e certificações do INMETRO. Assim, o trabalho ressalta a viabilidade técnica e a relevância do hidrogênio verde para a matriz

energética brasileira, com potencial para reduzir custos de energia, descarbonizar indústrias e promover sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UniEVANGÉLICA e à FUNADESP pelo apoio institucional e financeiro que viabilizou este estudo sobre hidrogênio verde, garantindo recursos para os experimentos e análises. Expresso também minha gratidão aos orientadores e professores Adriano Machado dos Santos e Bruna Moraes de Melo, pela orientação, confiança e contribuições técnico-científicas, fundamentais para o desenvolvimento das ideias e a qualidade final deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ALFALAVAL. *Catálogo Caldeiras Aalborg*. Disponível em: <http://montercal.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Catalogo-de-Caldeiras-Aalborg.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2025.

²ALVES VASCONCELOS, P. E.; MARAFON, R.; MIYASHIRO JUNIOR, R. Hidrogênio verde como alternativa para a transição energética e a importância do Brasil neste cenário. *Revista Direito das Políticas Públicas – Law and Public Policy Review*, v. 5, n. 1, [s.d.].

³BRAGA, A. P. Produção de hidrogênio por eletrólise da água. *Revista Brasileira de Energia*, v. 21, n. 2, 2015.

⁴BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 26 dez. 2017.

⁵CALOR DE COMBUSTÃO. *Wikipédia, a enciclopédia livre*, versão de 31 mar. 2020. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Calor_de_combust%C3%A3o&oldid=57927623. Acesso em: 27 ago. 2025.

⁶DINIZ BEZERRA, F. *Hidrogênio Verde: nasce um gigante no setor de energia*. [S.l.]: [s.n.], 2021.

⁷GOMES, J. Eletrólise da água na obtenção de hidrogênio. *Revista de Ciência Elementar*, v. 10, n. 2, 2022. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2022/025/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

⁸MANYIKA, J. et al. *Energias renováveis e seu potencial de mudar nossa sociedade*. 2013. Disponível em: <https://faberhaus.com.br/energias-renovaveis>. Acesso em: 27 ago. 2025.