

## **Avaliação do custo do Hidrogênio verde produzido a partir das fontes intermitentes fotovoltaica e eólica**

### **Cost evaluation of green Hydrogen produced from intermittent photovoltaic and wind sources**

DOI:10.34117/bjdv8n10-048

Recebimento dos originais: 05/09/2022

Aceitação para publicação: 04/10/2022

#### **Thaís de Fátima Araújo Silva**

Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Endereço: Avenida Um, nº 4050, Cidade Universitária, CEP: 39447-790, Janaúba - MG

E-mail: thais.araujo@ufvjm.edu.br

#### **Thiago Franchi Pereira da Silva**

Doutorado em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Endereço: Avenida Um, nº 4050, Cidade Universitária, CEP: 39447-790, Janaúba - MG

E-mail: thiago.franchi@ufvjm.edu.br

#### **Mauricio Alves Barbosa**

Graduação em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Endereço: Avenida Um, nº 4050, Cidade Universitária, CEP: 39447-790, Janaúba - MG

E-mail: mauricio.alves@ufvjm.edu.br

#### **Paula Eduarda Santos Silva**

Graduação em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

Endereço: Avenida Um, nº 4050, Cidade Universitária, CEP: 39447-790, Janaúba - MG

E-mail: paula.silva@ufvjm.edu.br

#### **RESUMO**

Uma matriz energética constituída de fontes renováveis é fundamental para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Pesquisas apontam a produção de hidrogênio verde através de fontes renováveis com grande potencial para diminuir essas emissões. Sendo o Brasil um possível grande produtor de hidrogênio verde já que 80% de sua matriz elétrica é oriunda de fontes renováveis, procura-se fazer uma avaliação dos custos de produção através da eletrólise da água.

**Palavras-chave:** Hidrogênio verde, fontes renováveis, custos de produção.

#### **ABSTRACT**

An energy matrix made up of renewable sources is fundamental to reduce the emission of greenhouse gases. Research shows that the production of green hydrogen from renewable sources has great potential to reduce these emissions. As Brazil is a possible

major producer of green hydrogen, since 80% of its electric matrix comes from renewable sources, an evaluation of the production costs through electrolysis of water is sought.

**Keywords:** green Hydrogen, renewable sources, production costs.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por energia, surge cada vez mais a necessidade de obtenção de fontes de produção que garantam a segurança do suprimento da demanda energética a um custo aceitável. Outros fatores importantes são a preocupação com os efeitos das mudanças climáticas e o impacto do uso dos combustíveis fósseis como fonte de energia na intensificação desse fenômeno. Esses fatos aumentam a necessidade de fontes alternativas de energia que eliminem ou reduzam as emissões de gases poluentes. Assim, nas últimas décadas, ganhou força a proposta de se usar o hidrogênio como fonte de energia. Abundante, principalmente na sua forma gasosa ( $H_2$ ), estima-se que ele possa desempenhar um importante papel na transição da matriz energética global para uma mais limpa e sustentável (Staffell et al., 2019).

Uma característica que favorece o uso de hidrogênio para produção de energia é o fato de ele possuir um elevado potencial de produção de energia por unidade de massa, o que impulsionou o surgimento de vários estudos sobre o tema (Vargas et al., 2006). Contudo, há vários desafios ao uso viável do hidrogênio combustível. Entre eles, o custo de produção, armazenamento e os desafios técnicos relacionados a sua extração, que demanda quantidade considerável de energia.

Nesse contexto concebeu-se os conceitos de produção de hidrogênio “cinza” e “verde”. O hidrogênio cinza é produzido a partir de combustíveis fósseis mas com a utilização de tecnologias para captura e redução de emissão dos gases, já o hidrogênio verde é produzido com a utilização de fontes renováveis.

Com a expansão da exploração das fontes de energia renováveis, majoritariamente a geração eólica e fotovoltaica, surge a oportunidade de se integrar essas fontes geradoras de energia na cadeia de produção de hidrogênio combustível. No Brasil está ocorrendo rápida expansão da produção de energia eólica, e nos últimos anos também da geração fotovoltaica. Essas fontes de energia ainda possuem amplo potencial a ser explorado no país (Nadaleti et al., 2020). O que destaca o Brasil como forte candidato a integração dessas tecnologias na produção de hidrogênio combustível. Outro fator que pode favorecer essa integração são as características técnicas associadas à energia elétrica

produzida pela geração eólica e fotovoltaica, que apresenta caráter intermitente associado à própria natureza da forma que essa energia é produzida, sujeita a variações de clima e da irradiação solar. Assim, a integração dessas fontes de energia ao Sistema Interligado Nacional (SIN) pode acontecer também de forma indireta quando essas são utilizadas como base para produção de hidrogênio combustível.

O hidrogênio verde é obtido através da eletrólise a partir de fontes renováveis, como já foi dito, geralmente utilizando fontes eólicas e fotovoltaicas. Esse processo consiste basicamente na decomposição das moléculas de água ( $H_2O$ ) em oxigênio ( $O_2$ ) e hidrogênio ( $H_2$ ) e acontece de maneira simples. São utilizados dois eletrodos que são submersos na água e conectados a alguma fonte de energia, em seguida, uma corrente contínua é aplicada e a decomposição acontece. A água utilizada possui sais e minerais para que seja possível conduzir a eletricidade. A dissociação do hidrogênio e o oxigênio acontece pois os eletrodos atraem os íons de carga oposta para si. Esse processo de produção do hidrogênio é considerado verde, pois sua liberação consiste em água em forma de vapor e não acontece a produção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (Vidas e Castro, 2021). No ano de 2020, o uso de energia provinda do hidrogênio verde obteve grande crescimento e possui potencial de liberar aproximadamente 8% da demanda global de energia. Estima-se que o custo desse processo seja em torno de 2,50 USD/kg. Espera-se que este potencial aumente em até 15% até 2030, pois estima-se que seu custo diminuirá consideravelmente neste período, custando cerca de 1,80 USD/kg (Kannah et. al, 2021).

Este custo depende principalmente dos custos de tecnologia e matéria-prima. Dessa forma, vários estudiosos avaliam o impacto desses dois fatores na oscilação do custo de produção do hidrogênio verde através da eletrólise. Dentro deste cenário, esse trabalho apresenta uma discussão sobre a variação do custo de produção do hidrogênio verde a partir das fontes de energia eólica e fotovoltaica. A discussão baseia-se em análises e estudos realizados em diferentes países e projeta o Brasil como possível exportador de energia renovável devida à constituição de sua matriz energética.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho baseou-se em uma análise qualitativa de artigos e documentos disponíveis na literatura e na internet. Buscou-se avaliar os fatores que influenciam nos custos da produção do hidrogênio verde através da eletrólise a partir de fontes de energia intermitentes como a fotovoltaica e eólica .

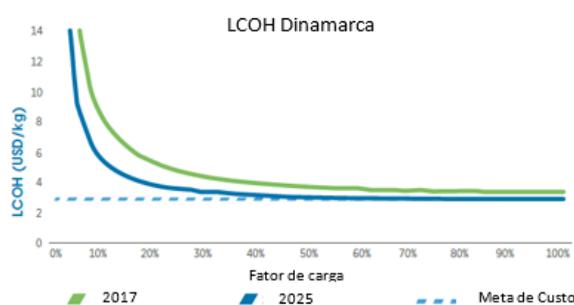
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O investimento no desenvolvimento de novas tecnologias ligadas à produção de hidrogênio verde leva a um questionamento simples e fundamental, o entendimento de quais variáveis impactam diretamente no seu custo de produção. Identificar quais são essas variáveis permite acessar de maneira mais precisa a viabilidade desse tipo de investimento.

Assim, neste contexto são apresentados algumas discussões a partir de autores nacionais e internacionais sobre o custo de produção de hidrogênio verde a partir das fontes de energia fotovoltaica e eólica. O elevado custo está relacionado à eletrólise, a forma mais limpa de obtenção do hidrogênio verde.

Segundo Ferreira (2022), os custos associados à produção do hidrogênio ainda são um entrave à expansão da produção. Ela afirma que esses custos variam de acordo com as taxas e impostos de cada país e dependem da tecnologia utilizada para a produção do hidrogênio. Especificamente, o fator de carga do eletrolisador e os custos associados à energia elétrica podem deixar essa conta ainda mais cara. Segundo as pesquisas realizadas em Portugal e por pesquisadores da Dinamarca, quando o fator de carga do eletrolisador assume valores a partir de 50 % o custo de produção do hidrogênio estabiliza. Assim, quanto mais baixo o fator de carga, maior será o custo nivelado do hidrogênio (LCOH). Segundo a autora, espera-se que a produção do hidrogênio utilizando energia eólica seja mais competitiva que a utilização de combustíveis fósseis. Considerando que a produção do hidrogênio seja realizada utilizando energia solar fotovoltaica, a autora estimou que com a redução dos custos das células fotovoltaicas a produção de hidrogênio tornar-se-á competitiva também. A figura 1 apresenta a variação do fator de carga do eletrolisador versus o custo nivelado do hidrogênio avaliado na Dinamarca. Observa-se, através do gráfico, que estima-se que a partir de fatores de carga de 40%, em 2025, se alcançará o custo desejável para o processo de produção.

Figura 1. Variação do custo nivelado do Hidrogênio Adaptado de Ferreira (2022)



Por sua vez, Armijo e Philibert (2020) reportaram em seu trabalho um modelo técnico econômico para a produção flexível de hidrogênio verde e amônia a partir da geração fotovoltaica e eólica, considerando dados da Argentina e do Chile. Eles consideraram nas simulações um sistema híbrido de geração de energia elétrica para reduzir os custos de produção do hidrogênio. Sobre o modelo simulado assumiu-se eletrolisador alcalino com comportamento flexível. Considerou-se também um fator de carga híbrido para o eletrolisador. Segundo os autores, a redução nos custos obtida pelo modelo foi relativamente pequena e acontece quando o efeito do aumento do fator de carga do eletrolisador supera o aumento do custo da energia elétrica. Esses resultados permitem acessar o quanto os dois fatores podem inviabilizar a produção do hidrogênio verde.

Kakoulaki et al. (2021) expõem a situação do hidrogênio verde na Europa. A análise desses autores considera também a produção de hidrogênio através da eletrólise a partir de fontes renováveis. Segundo os autores, a maior parte dos países pesquisados tem potencial tecnológico para produzir hidrogênio a partir de fontes de energia renovável. Os autores também corroboram que o custo dos eletrolisadores é o maior entrave para que a produção de hidrogênio verde torne-se competitiva com a produção de hidrogênio a partir de combustíveis fósseis. Contudo, ressalta-se que várias regiões da Europa com grande densidade populacional não possuem fontes de energia verde suficientes para atender nem a demanda por eletricidade interna, muito menos a de hidrogênio. Tal fato cria novas oportunidades de exportação para países ricos em fontes de energia renováveis como o Brasil. Observa-se que essas oportunidades estão associadas à transmissão e armazenamento de hidrogênio. Segundo os autores, a utilização de gasodutos dedicados pode ser uma alternativa para sanar as distâncias entre países com capacidade de produção do hidrogênio verde e os grandes centros de carga na Europa.

Observa-se, a partir dos trabalhos apresentados, o grande impacto da tecnologia do eletrolisador bem como do custo da energia elétrica nos custos de produção de hidrogênio através da eletrólise. Neste sentido, soluções como a utilização de sistemas híbridos de geração de energia através de fontes renováveis como a eólica e fotovoltaica podem diminuir os custos de energia, desde que o fator de carga do eletrolisador utilizado seja elevado, ou a partir de 40%.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os impactos ambientais da emissão de gases de efeito estufa provenientes de combustíveis fósseis é um assunto urgente que deve ser tratado através de ações sustentáveis. Nesse sentido, o hidrogênio verde torna-se uma alternativa sustentável na mitigação da emissão desses gases.

A obtenção do hidrogênio pode ser realizada a partir de várias tecnologias bem estabelecidas. Destaca-se dentre elas, como a mais limpa, a eletrólise realizada através de energia oriunda de fontes de energia renováveis.

No entanto, hoje a produção do hidrogênio verde apresenta custo elevado. Assim, a utilização de energia renovável é fundamental para a produção do hidrogênio verde com custos mais competitivos, pois pode diminuir o efeito do fator de carga dos eletrolisadores no custo total de produção.

Dessa forma, o Brasil projeta-se como possível protagonista na produção do hidrogênio verde, pelo o perfil da sua matriz elétrica. Contudo, investimentos em pesquisas são fundamentais para que essas projeções sejam alcançadas.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

Armijo, J.; Philibert, C.. Flexible production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy: Case study of Chile and Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 3, p. 1541-1558, 2020.

Ferreira, M. A. Utilização de fontes de energia renováveis para a produção de hidrogênio. Instituto Politécnico de Coimbra, 104 pág., 2022

Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A.. Green hydrogen in Europe—A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, v. 228, p. 113649, 2021.

Kannah, R. Y., Kavitha, S., Karthikeyan, O. P., Kumar, G., Dai-Viet, N. V., & Banu, J. R. Techno-economic assessment of various hydrogen production methods—A review. *Bioresource technology*, 319, 124175. v. 319, p. 124175, 2021.

Nadaleti, W. C.; Dos Santos, G. B.; Lourenço, V. A. Integration of renewable energies using the surplus capacity of wind farms to generate H<sub>2</sub> and electricity in Brazil and in the Rio Grande do Sul state: energy planning and avoided emissions within a circular economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 46, p. 24190-24202, 2020.

Staffell, I., Scamman, D., Abad, A. V., Balcombe, P., Dodds, P. E., Ekins, P., ... & Ward, K. R. The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12(2), 463-491, 2019.

Vargas, R. A., Chiba, R., Franco, E. G., & Seo, E. S. Hidrogênio: o vetor energético do futuro? 2006.

Vidas, L.; Castro, R. Recent Developments on Hydrogen Production Technologies: State-of-the-Art Review with Focus on Green-Electrolysis. *Appl. Sci.*, v. 11, p. 11363, 2021.