



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Avaliação da produção de hidrogênio derivado da eletrólise do excedente hidrelétrico brasileiro de energia

Assessment of electrolysis-derived hydrogen production from the Brazilian hydroelectric surplus of energy

Lenrri Ryuji Shimabukuro Nakasone, Lucas Bonfim Rocha,
Sidmara Bedin

RESUMO

Na busca para diminuir os impactos causados pelo aquecimento global, o hidrogênio eletrolítico se mostra uma ótima solução como uma fonte de combustível renovável. Este trabalho se dedica a averiguar a viabilidade técnico-econômica para se produzir hidrogênio a partir da eletrólise alcalina da água utilizando a energia desperdiçada das usinas hidrelétricas, chamada de energia vertida turbinada (EVT). Modelagem matemática foi proposta para avaliar a cadeia de suprimento do hidrogênio eletrolítico, o qual procura maximizar a performance econômica enquanto minimiza os impactos ambientais. A princípio, levantaram-se dados de geração, potência e distância das usinas hidrelétricas para o cálculo da EVT disponível e, posteriormente, utilizados no cálculo do hidrogênio produzido. Constatou-se que uma EVT equivalente a 5% da energia gerada é o suficiente para suprir 84% da demanda de hidrogênio atual do mercado brasileiro, e dessa forma, contribuir com a diminuição do efeito estufa.

Palavras-chave: Eletrólise da água; Cadeia de suprimentos; Energia vertida, Oxigênio.

ABSTRACT

In the search to reduce the impacts caused by global warming, electrolytic hydrogen proves to be an excellent solution as a renewable fuel source. This work verifies the technical-economic feasibility of producing hydrogen from the alkaline electrolysis of water, using wasted energy from hydroelectric plants, called spilled turbinable energy (SPE). A Mathematical model evaluates electrolytic hydrogen supply chain, which seeks to maximize economic performance while minimizing environmental impacts. At first, data of generation, power, and distance from the hydroelectric plants were collected to calculate the available SPE and later used to calculate the hydrogen produced. It was found that an SPE equivalent to 5% of the generated energy is enough to supply 84% of the current demand for hydrogen in the Brazilian marketplace and thus contribute to reducing the greenhouse effect.

Keywords: Water electrolysis; Supply chain; Spilled Energy, Oxygen.



1 INTRODUÇÃO

Em decorrência do aquecimento global, a procura por novas fontes de energia sustentável se tornou uma peça fundamental para estabelecer o equilíbrio energético do planeta e mantê-lo habitável. Nesse contexto, o hidrogênio tem se provado uma fonte promissora, sendo capaz de substituir os combustíveis fósseis sem emitir gás carbônico na atmosfera quando gerado a partir de recursos renováveis como o hidrogênio verde, obtido a partir da eletrólise da água (DUTTA, 2014). Além de funcionar como combustível, o hidrogênio possui inúmeras outras aplicações como insumo para o refino do petróleo, produção de amônia, metal, aço, etc. (IEA, 2019). O emprego do hidrogênio verde nesses casos pode diminuir os impactos ambientais causados durante suas respectivas cadeias de suprimentos.

A eletrólise da água é um dos métodos mais antigos para se obter hidrogênio, conhecida por gerar um produto de alta pureza sem emitir gás carbônico durante todo o seu processo, possui uma boa integração com fontes de energias renováveis em geral (solar, eólica e hidroelétrica) e produz oxigênio como subproduto, podendo ainda ser aproveitado de outras formas. Entretanto, esta técnica ainda não é comercialmente viável, e cerca de 95% da produção global de hidrogênio tem origem de recursos não renováveis, especialmente a partir da reforma a vapor do gás natural (ROYAL SOCIETY, 2018).

Dentre os desafios encontrados para a geração de hidrogênio via eletrólise da água, o maior deles é o grande consumo de energia elétrica. Normalmente são requeridos cerca de 4,5–5,0 kWh para a obtenção de 1 Nm³ de H₂ em eletrolizadores industriais. Somado a isso estão os altos custos de instalação e manutenção dos eletrolizadores, tornando a produção de hidrogênio verde inviável, exceto em algumas situações específicas (GRIGORIEV et al., 2020). Dessa forma, quais são as condições favoráveis para se obter o hidrogênio eletrolítico? Existe viabilidade técnico-econômica para a aplicação da tecnologia no Brasil?

No cenário de energias renováveis, o Brasil é um dos líderes de produção mundial, onde a maior parte da energia elétrica gerada no país é renovável e obtida a partir de usinas hidrelétricas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020). Por definição, as usinas hidrelétricas transformam a energia gravitacional da queda de água em energia elétrica ao estabelecer um desnível com suas barragens. Porém, quando o volume de água supera a capacidade da barragem, parte dele é desviado para um vertedouro. Nesse ponto, a energia que poderia ser gerada pelo volume de água desperdiçado é denominada de energia vertida turbinável (EVT). Essa energia que normalmente é desperdiçada, pois não há formas eficientes de armazená-la, pode ser reaproveitada para a produção de hidrogênio (ESPÍNOLA, 2008).

Diante do exposto este trabalho tem como objetivo avaliar os dados de potencial de energia vertida turbinável das usinas hidrelétricas (UHE) e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) disponíveis nos bancos de dados do setor energético, para mapear o potencial energético vertido de cada estado e região do país e criar um modelo matemático que visa identificar a viabilidade de produção de hidrogênio e oxigênio por eletrólise no Brasil, além de detectar as regiões de maior produção e otimizar as rotas de transporte para a reduzir os custos associados.

2 MÉTODO

A metodologia desenvolvida para apurar este estudo consistiu em coletar dados de aproveitamento energético de cada usina e categorizá-los no Excel. Além disso modelo matemático foi desenvolvido para otimizar os indicadores econômicos e ambientais de cada cenário da geração de hidrogênio. A partir da



resolução do modelo, foi feita a interpretação dos resultados, análises gráficas de Pareto e análises de sensibilidade.

2.1 Coleta de dados

As informações sobre a geração, potência nominal e distância das usinas hidrelétricas e marcas de eletrolizadores alcalinos foram coletadas e catalogadas. Com tais dados foi estimada a quantidade de energia vertida disponível e o rendimento da produção de hidrogênio e oxigênio. Foram considerados as informações de 155 UHEs e 443 PCHs disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil, e está sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

A potência nominal, medida em kilowatt (kW) é a capacidade máxima de energia que uma usina pode gerar e está atrelado às quantidades de turbinas que cada hidrelétrica possui. A geração anual de energia corresponde à soma das produções de energia registrados diariamente pelo ONS, podendo ser visualizados em gráficos de acordo com o subsistema, estado ou usina (ONS, 2021). Neste caso foram usados os dados de geração referentes aos anos de 2017, 2018 e 2019.

As distâncias entre as usinas hidrelétricas e a capital de um estado brasileiro foram obtidas a partir do Google Maps, serviço de pesquisa e visualização de mapas desenvolvido pela Google, e com a ajuda do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL), mapa com empreendimentos em geração, transmissão e distribuição presentes no território brasileiro disponibilizados pela ANEEL (ANEEL, 2021).

2.2 Cálculo da EVT e do hidrogênio produzido

A disponibilidade da energia vertida turbinada está intrinsecamente relacionada às condições de afluência, ao volume de água do reservatório e à demanda do mercado por energia elétrica (ESPÍNOLA, 2008). Por isso não foram calculadas as EVTs individuais de cada UHE e PCH, uma vez que muita das informações necessárias para o cálculo não estão disponíveis. Para contornar a situação, utilizaram-se dados conhecidos e confiáveis de EVT da usina hidrelétrica de Itaipu para estimar o vertimento nas demais usinas.

De acordo com a ITAIPU BINACIONAL em 2017 a usina hidrelétrica de Itaipu gerou 11003 MW médios de energia enquanto sua EVT correspondia a 214 MW médios de energia, ou seja, a relação entre a EVT e a energia gerada foi de aproximadamente $2\% = [(214/11003) \times 100\%]$ (ITAIPU, 2021). Esse valor foi empregado como base para projetar cenários onde a EVT de todas as usinas hidrelétricas corresponde a 2%, 5% e 8% da energia média gerada anualmente (EMG). Para se obter a EMG de cada usina foi feita a média aritmética dos valores de energia gerada nos anos de 2017, 2018 e 2019.

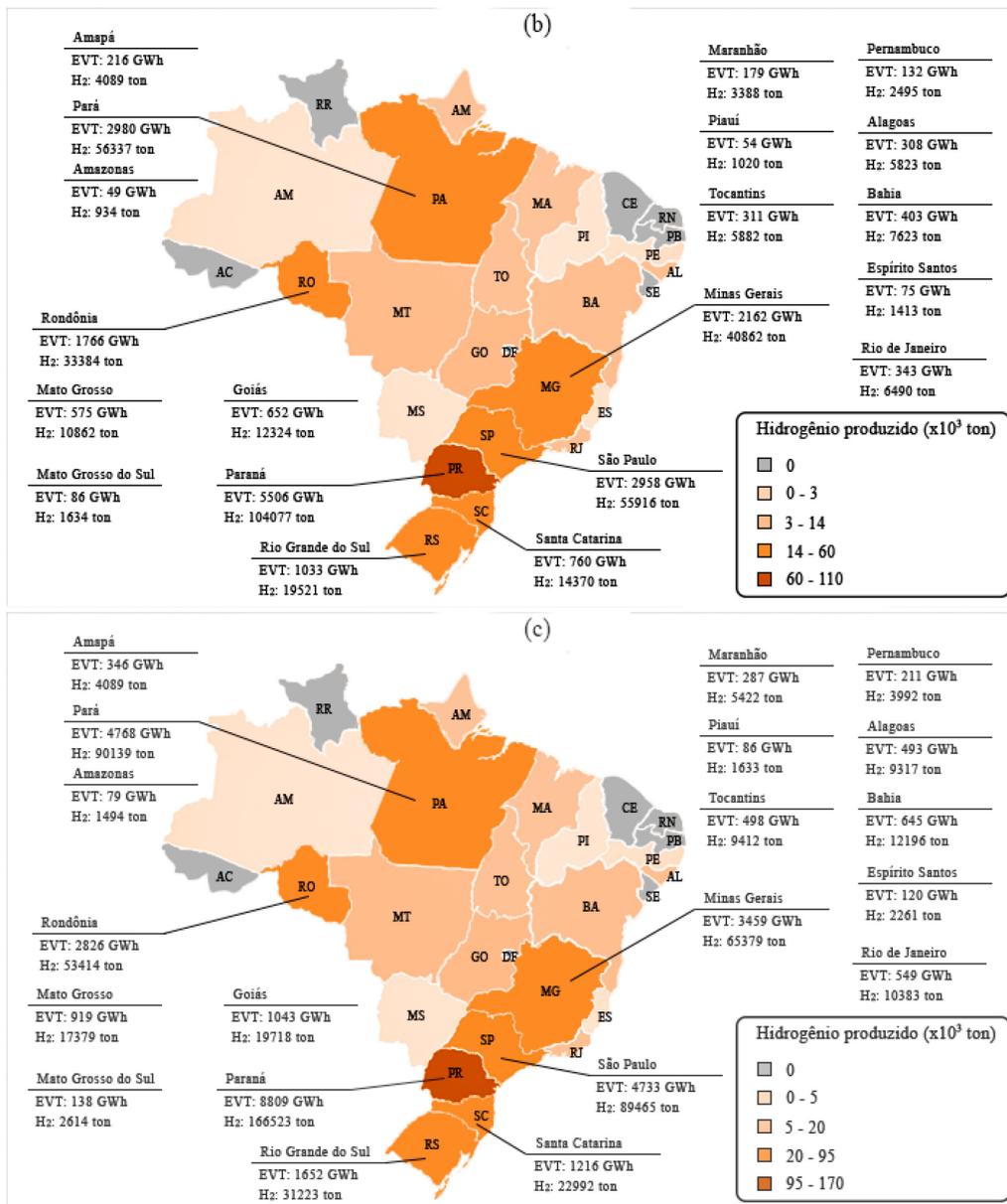
Após determinada a quantidade de EVT, o próximo passo consistiu em determinar o parâmetro que relaciona a energia gasta por um eletrolizador para produzir hidrogênio. Na Eq. (1), CM representa o consumo médio de energia de todos os eletrolizadores alcalinos listados neste estudo, PTH a quantidade total de hidrogênio produzido, onde o u indica cada uma das UHEs e PCHs. Para avaliar os resultados obtidos, foi adotada um consumo médio de 0,0529 GWh/ton. e uma demanda de hidrogênio de 465 mil ton./ano, valor correspondente à atual demanda brasileira de hidrogênio segundo a Fundação Heinrich Böll (SANTOS, VICTORIA; OHARA, 2021).



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

XI Seminário de Extensão e Inovação
XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica
08 a 12 de Novembro - Guarapuava/PR



Fonte: autoria própria (2021)

Finalmente, ao somar as taxas de produção de todos os estados encontra-se a quantidade total de hidrogênio produzido. Para os 3 cenários estudados tem-se 155,4 mil ton./ano, 388,5 mil ton./ano e 621,6 mil ton./ano. Ao assimilar os resultados em função da demanda de hidrogênio nacional, percebe-se que vertendo uma energia equivalente a 5% da energia gerada é possível suprir boa parte dessa demanda. Ao mesmo tempo que vertendo 8% não só cumpre a demanda como sobra hidrogênio para exportá-lo. Portanto, nota-se que a ideia de reutilizar a ETV é bem promissora.



4 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou que dentro de um cenário favorável, torna-se plausível a obtenção do hidrogênio pela eletrólise alcalina da água, sendo o uso da EVT uma das soluções para baixar o custo final. Três cenários foram analisados: o primeiro representa a situação mais atual, onde a relação entre a EVT e a energia gerada é de 2%, enquanto que os outros dois possuem uma abordagem mais otimista. Pode-se concluir que verter o equivalente a 5% da energia gerada é o suficiente para suprir 84% da demanda de hidrogênio atual do Brasil, gerando cerca de 388,5 mil ton.H₂/ano.

Em uma análise mais profunda, foi constatado que as regiões Sul e Sudeste possuem a maior taxa de geração dentro do país. Isoladamente, alguns estados de outras regiões também se destacam, como é o caso do Pará e de Rondônia. Portanto, essas áreas são promissoras para a produção do hidrogênio verde. Algumas etapas propostas para este trabalho estão em andamento, devido à extensão do projeto e a complexidade do tema abordado. Contudo, com os resultados já obtidos é perceptível o grande potencial do Brasil para desenvolver uma matriz energética completamente sustentável utilizando o hidrogênio verde.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelos auxílios prestados e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Informações Geográficas do Setor Elétrico Brasileiro**. Disponível em: <www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- DUTTA, S. A review on production, storage of hydrogen and its utilization as an energy resource. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. Korean Society of Industrial Engineering Chemistry, 25 jul. 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2020**. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 1 mar. 2021.
- ESPÍNOLA, M. O. G. Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da energia vertida turbinável da Usina Hidrelétrica de Itaipu para a síntese de amônia. p. 151, 2008.
- GRIGORIEV, S. A. et al. Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 49, p. 26036–26058, 2 out. 2020.
- IEA. **The Future of Hydrogen**. Paris, 2019. Disponível em: <www.iea.org>. Acesso em: 16 abr. 2021
- ITAIPU. **ENERGIA DISPONÍVEL ANUAL**. Disponível em: <www.itaipu.gov.br>. Acesso em: 3 mar. 2021.
- ONS. **Histórico de operação - geração de energia**. Disponível em: <www.ons.org.br>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- ROYAL SOCIETY. **Options for producing low-carbon hydrogen at scale**.
- SANTOS, VICTORIA; OHARA, A. Desafios e oportunidades para o Brasil com o hidrogênio verde. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <br.boell.org>. Acesso em 25 jul. 2021.