



DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL: PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE E ELETRICIDADE A PARTIR DA ENERGIA DESPERDIÇADA EM HIDRELÉTRICAS NA BACIA DO RIO JACUÍ

EDUARDA GOMES DE SOUZA¹; ANDERSON GABRIEL CORRÊA²; ANAÍS
FRANÇA DE MATOS OLIVEIRA³; MAELE COSTA DOS SANTOS⁴; WILLIAN
CÉZAR NADALETI⁵

¹*Universidade Federal de Pelotas – gseduarda@gmail.com*

²*Universidade Federal de Uberlândia – andersoncorrea560@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – anaisfrancadematosoliveira@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – maeledossantoseq@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – williancezarnadaleti@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

O hidrogênio verde, aquele que é produzido a partir de fontes de energia renováveis se apresenta como uma solução potencial para o setor elétrico, com utilização na indústria, e transporte. Considerado uma energia limpa, com apenas emissões de vapor de água e ar quente, evitando emissões de diversos poluentes ao ambiente (RABIEE et al., 2021). A utilização da energia da forma mais eficiente possível para reduzir a emissão de GEE é de extremo interesse de diversos setores, pois as formas de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos e atenuar as mudanças climáticas exigem a geração de novas tecnologias de energias renováveis (LI et al., 2020).

Dentre as formas de utilização do hidrogênio, este pode ser convertido em células a combustível para geração de eletricidade, ou ser usado como matéria-prima para diversos processos industriais, na produção de amônia, metanol, hidrocraqueamento e dessulfurização (RABIEE et al., 2021). Os desafios para a economia do hidrogênio incluem o lento desenvolvimento da infraestrutura do hidrogênio e pouca adoção; o custo de produção de hidrogênio a partir de fontes de energia com baixo teor de carbono; e uma série de limitações devido a políticas públicas e desenvolvimentos na indústria de hidrogênio. Ademais, a produção de hidrogênio atualmente é baseada em combustíveis fósseis, sendo responsável por grandes quantidades de emissões de CO₂ (IEA, 2019). Nesse contexto, a eletrólise da água é considerada uma das tecnologias mais eficientes e limpas do mercado, que consiste na quebra da molécula de água a partir de uma corrente elétrica, gerando hidrogênio (H₂) e oxigênio (O) (VIOLA, 2015).

A energia hidráulica compõe cerca de 55,7% da matriz energética do estado (EPE, 2020). Nesse sentido, a produção de hidrogênio eletrolítico a partir da utilização de energia vertida turbinável das hidrelétricas aumentaria a eficiência energética das plantas consideradas no estudo e contribuiria para mitigação dos GEE, reduzindo o uso de combustíveis fósseis e a dependência das termoelétricas na região. Portanto, o trabalho tem como objetivo estimar o potencial de eletricidade e hidrogênio através da eletrólise da água a partir da energia desperdiçada nas centrais hidrelétricas localizadas na Bacia do Rio Jacuí, no estado do Rio Grande do Sul. Dessa forma, com intuito de superar os desafios da economia do H₂ e estimular uma transição energética sustentável e segura para região, visando a descarbonização de sua matriz energética com a inserção de uma fonte alternativa de energia limpa.



2. METODOLOGIA

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) a partir do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), onde foram coletadas as informações relacionadas às plantas hidrelétricas do Sistema Interconectado Nacional (SIN). O período de coleta dos dados ocorreu de Janeiro de 2021 a Julho de 2021. O local de estudo foi delimitado à Bacia do Rio Jacuí, localizada no Rio Grande do Sul. Foram selecionados para a pesquisa somente os reservatórios que apresentavam dados de vazão vertida no período determinado, sendo eles: 14 de Julho, Erestina, Castro Alves, Monte Claro, D. Francisca. Segundo a metodologia proposta por Viola (2015) foi aplicada para determinar o potencial de eletricidade e hidrogênio a partir da água desperdiçada nas 5 centrais hidrelétricas propostas no estudo (Equações 1-3):

$$E_{H_2O} = \rho_{H_2O} \times g \times V \times H \times \eta_{HT} \times \eta_{EG} \quad (1)$$

Em que: E_{H_2O} : Eletricidade gerada a partir da água (J); ρ_{H_2O} : Densidade da água (kg/m^3); g : Aceleração da gravidade (m/s^2); V : Volume de água desperdiçada (m^3); H : Cota da planta hidrelétrica (m); η_{HT} : Eficiência da turbina hidráulica (%); η_{EG} : Eficiência do gerador elétrico (%).

A conversão da eletricidade gerada pela turbina hidrelétrica para massa de hidrogênio gerada no processo de eletrólise está exposta na Equação (2) (Viola, 2015):

$$M_{H_2} = \frac{E_{H_2O}}{Re} \quad (2)$$

Onde: E_{H_2O} : Eletricidade gerada a partir da água (J); Re : Energia requerida para produzir 1kg de hidrogênio (J).

A Equação (3) expressa a conversão da massa de hidrogênio gerada através da eletrólise da água para gramas:

$$m = n \times M \quad (3)$$

Em que: n : massa de hidrogênio gerada por eletrólise; M : massa molar de hidrogênio, equivalente a 2,02 g/mol;

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra o potencial de eletricidade obtido a partir da água desperdiçada nas plantas hidrelétricas:

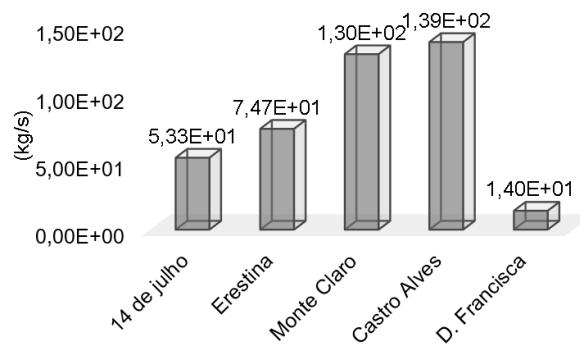
Tabela 1. Eletricidade gerada a partir da água desperdiçada

Reservatório	Volume de água desperdiçada (m^3)	Eletricidade gerada a partir da água desperdiçada (kWh)
14 de julho	3,84E+11	6,87E+16
Erestina	1,14E+11	9,63E+16
Monte Claro	6,57E+11	1,68E+17
Castro Alves	4,31E+11	1,80E+17
D. Francisca	8,28E+10	1,34E+16
Total	1,66828E+12	5,26E+17

Fonte: Adaptado dos dados obtidos no SAR (ANA, 2021).

Os reservatórios Castro Alves e Monte Claro que se localizam em Nova Roma do Sul e na divisa de Bento Gonçalves e Veranópolis respectivamente, obtiveram maior potencial de eletricidade e consequentemente de hidrogênio verde gerado a partir da água desperdiçada. O potencial de energia a partir da energia desperdiçada apenas nas cinco hidrelétricas propostas de $5,26E+17$ kWh, supre o consumo de energia elétrica residencial de todo estado, que atinge $3,1629E+10$ kWh (EPE, 2020). Ainda, a partir da Equação 3 foi possível estimar o fluxo de massa do hidrogênio produzido em cada planta. Assim, a Figura 1 demonstra o fluxo mássico de H₂ obtido:

Figura 1. Fluxo de massa do hidrogênio



Fonte: Adaptado dos dados obtidos no SAR (ANA, 2021).

Contudo, diversos desafios surgem na aplicação do elemento, que vão desde o planejamento até a operação e armazenamento desse tipo de energia. Além disso, precisam ser levados em consideração incertezas de demanda, o mercado e o público, bem como possíveis restrições ambientais a respeito do uso do hidrogênio como energia (RABIEE et al., 2021). Após a produção do H₂, pode-se armazená-lo de diversas maneiras, a experiência do sistema *power-to-gas* por exemplo, pode ser uma alternativa viável do ponto de vista econômico se compararmos com os preços do armazenamento líquido, entre outros (COUNCIL, 2021).

Haja vista que já existe um mercado de hidrogênio, foi estimada a receita gerada com a venda do elemento. O preço comercial do H₂ fornecido pela Taiyu Chendu Gas Co Ltd. (2021) varia de 0,95 a 1,95 U\$/m³. Dessa forma, foi considerando um valor médio de 1,45 U\$/m³, equivalente a 7,42 R\$/m³. Assim, as plantas hidrelétricas do estudo gerariam uma receita de $2,08E+11$ (R\$/ano), $2,92E+11$ (R\$/ano) $5,09E+11$ (R\$/ano) $5,44E+11$ (R\$/ano), $4,06E+10$ (R\$/ano) respectivamente. Ademais, devem ser calculados os custos de produção, manutenção, operação e armazenamento do hidrogênio. No que concerne a isto, o custo de produção de hidrogênio renovável pode cair mais rápido do que o estimado se for ampliado com a estrutura regulatória de longo prazo certa e apoio público, declínio contínuo nos custos renováveis e um aumento rápido das cadeias de valor para eletrólise e gestão de carbono (COUNCIL, 2021).

Por fim, como demonstrado, estudar as aplicações de energia renovável com o uso do hidrogênio em diversos setores industriais e de transporte são de extrema importância para diversificar a matriz energética do estado e acelerar a transição para uma economia de baixo carbono. Por isso, é necessário o incentivo do governo com planos e auxílio financeiro em todos os níveis de governo para



acelerar a transição atual do consumo de combustíveis derivados do petróleo para se tornar um mercado líder de energias renováveis, atuando no controle do efeito estufa e na preservação dos recursos naturais (LIU et al., 2021).

4. CONCLUSÕES

A geração de energia elétrica atingiu $5,26E+17$ kWh, que poderia ser utilizada para suprir a demanda da região, diversificando sua matriz energética. Ainda, o fluxo de hidrogênio verde a partir da água desperdiçada nas centrais hidrelétricas foi de $4,11E+02$ kg/s. Ao total, isso resultaria em uma receita de $1,59E+12$ (R\$/ano).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIOLA, Luigi. Estudo da produção de hidrogênio eletrolítico a partir de fontes eólica, solar e hidrelétrica. Guaratinguetá-SP: Paulista State University; 2015.

LI, Li et al. Review and outlook on the international renewable energy development. **Energy and Built Environment**, 2020.

LIU, Jia et al. Hybrid renewable energy applications in zero-energy buildings and communities integrating battery and hydrogen vehicle storage. **Applied Energy**, v. 290, p. 116733, 2021.

RABIEE, Abbas; KEANE, Andrew; SOROUDI, Alireza. Technical barriers for harnessing the green hydrogen: A power system perspective. **Renewable Energy**, v. 163, p. 1580-1587, 2021.

IEA – International Energy Agency. (2019). The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities. Report prepared by the IEA for the G20, Japan. Disponível em: <https://webstore.iea.org/download/direct/2803>. Acesso em: Julho de 2021.

COUNCIL, Hydrogen. (2021). A Perspective on Hydrogen Investment, Deployment and Cost Competitiveness.

ANA – Agência Nacional de Águas. SAR– Sistema de acompanhamento de reservatórios. 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin?dropDownListEstados=26&dropDownListReservatorios=&dataInicial=&dataFinal>. Acesso em: Julho de 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2020. 264 p.

Taiyu Chendu Gas Co Ltd. (2021). Disponível em: https://portuguese.alibaba.com/product-detail/industrial-grade-99-9999-liquid-perature-hydrogen-price-1600291357549.html?spm=a2700.shop_oth.41413.13.10293b730u5TZJ. Acesso em: Julho de 2021.