



DEBATES E
OPORTUNIDADES PARA
O DESENVOLVIMENTO
DA ECONOMIA AZUL

PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE

Laura Carvalho Embiruçu¹; Fernando Pellegrini Pessoa²; Leonardo Santana³; Gustavo Santos⁴

¹Graduanda em engenharia química; Projeto de recursos humanos (PRH 27.1) ANP-FINEP; laura.embirucu@gmail.com

²Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; fernando.pessoa@fieb.org.br

³Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; leonardo.oss@fbter.org.br

⁴Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; gustavo.eqrj@gmail.com

RESUMO

O hidrogênio verde é citado na literatura como o "combustível do futuro", pois é produzido por meio de fontes e tecnologias limpas (solar, eólica, hidráulica, entre outras), desse modo apresenta-se como uma alternativa renovável para o fornecimento mundial de combustíveis. A busca por um sistema de produção que seja viável tanto economicamente quanto ambientalmente, possui como um dos principais objetivos extinguir a dependência de combustíveis fósseis, visto que os grandes centros urbanos estudam processos de descarbonização (resultado de anos de emissão de gases poluentes proveniente dos processos de combustão desse combustível). Para tal, o presente trabalho busca por meio de uma análise da cadeia produtiva do hidrogênio verde avaliar aspectos como: tecnologia, custos, impactos ambientais e logística, quando comparado com outras rotas de processamento de H₂.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis; Produção; Tecnologias; Descarbonização

1. INTRODUÇÃO

O processo de descarbonização industrial é um movimento que vem tomando uma maior significância e notoriedade a algumas décadas. A necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global, levou muitos países e empresas a buscar alternativas mais limpas e eficientes para a produção de energia e a realização de processos industriais. Desde então, têm sido implementadas diversas medidas e tecnologias com foco na redução das emissões de carbono. Algumas das alternativas realizadas nesse processo são: adoção de fontes de energia renovável, a otimização de processos industriais e a implementação de sistemas de captura e armazenamento de carbono (CCUS).¹ O trabalho busca, por meio do detalhamento da produção (produção, logística, custos, etc), avaliar se o hidrogênio verde pode configurar-se como alternativa viável com nova matriz energética.

Hidrogênio, o primeiro elemento da tabela periódica, é menos complexo e o mais abundante no universo (PUSZ, 2001). É considerado um elemento-chave da água, que abrange mais de 60% da superfície do planeta. Tende a aparecer em diferentes formas de plantas, animais, seres humanos, combustíveis fósseis, e outros compostos químicos (SLOOP, 1978). Apresenta-se como grande potencial para nova fonte de matriz energética mundial, visto que, entre as suas propriedades químicas mais significantes, a capacidade de armazenar energia, sendo considerado um combustível de baixo peso molecular, logo vai possuir maior quantidade de energia por unidade de massa quando comparado a qualquer outro combustível. Além de ser altamente compacto, pois quando se encontra resfriado no estado líquido, ocupa um espaço equivalente a 1/700 daquele que ocuparia caso estivesse no estado gasoso. O hidrogênio verde (H₂V) também pode ser usado como combustível em células de combustível para gerar eletricidade, sem emitir poluentes. Podendo ser utilizado em veículos, como carros e caminhões, bem como em sistemas de energia para prédios e até mesmo para alimentar motores de aviação.

Na literatura, é adotado um sistema de cartela de cores, que estão representadas na tabela 1, elas buscam categorizar, de forma simplificada, referências para estudos internacionais e são relacionadas com a forma ao qual o hidrogênio é produzido (matéria-prima e tecnologias de conversão), além da possibilidade de captura, utilização ou armazenamento do gás carbônico gerado (CCUS, do inglês, Carbon Capture, Utilisation and Storage). (BAKER MCKENZIE, 2020)

Tabela 1: Classificação do hidrogênio

Cor	Descrição	Forma de produção
Preto	Produção através do carvão mineral (antracito) sem CCUS	
Marrom	Produção através do carvão mineral (hulha) sem CCUS	
Cinza	Produção através do gás natural sem CCUS	
Turquesa	Produção por craqueamento térmico do metano, sem gerar CO2	
Azul	Produção a partir do gás natural (ou outro combustíveis fósseis) com CCUS	
Verde	Produzido por fontes de energia renováveis via eletrólise da água	

Fonte: Própria

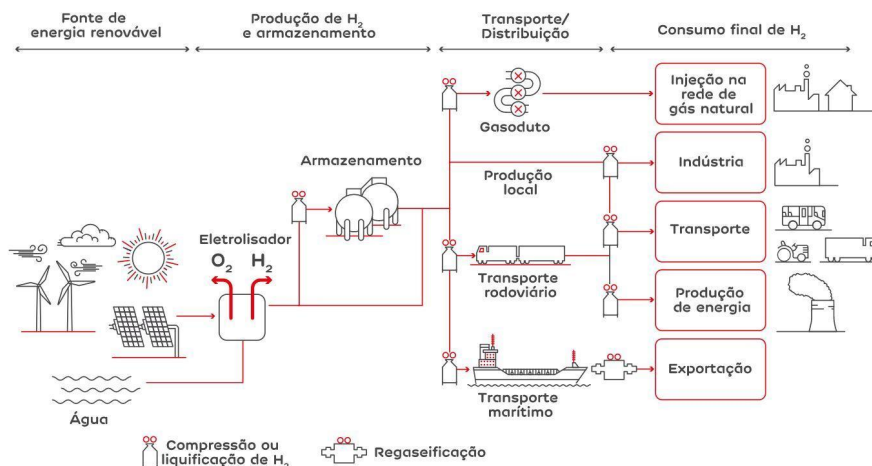
2. METODOLOGIA

O presente artigo caracteriza-se com base nos tipos de metodologia como sendo teórico de natureza básica, pois ele tem como finalidade a análise das variáveis referentes a diferentes métodos de produção de hidrogênio, bem como a observação dos fenômenos físicos e químicos atrelados a esse processo. A abordagem de construção foi tanto quantitativa como qualitativa, com utilização de fluxogramas que desenham o processo e interferências elencadas em um levantamento bibliográfico, tendo como principais referências: NASCHERT (2021) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2022. O Roadmap Tecnológico ou Technology Roadmap (TRM) destaca-se como sendo uma ferramenta no segmento de Prospecção Tecnológica, seja por seu desempenho e/ou versatilidade em estabelecer análises de mercado, promover o estudo de trajetórias tecnológicas e avaliar determinados perfis dos atores atuantes no setor, monitorar concorrentes ao longo do tempo e identificar oportunidades de novos negócios.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A produção do hidrogênio verde é advinda da eletrólise da água, utilizando eletricidade gerada por fontes renováveis, como energia solar, eólica e hidrelétrica conforme demonstrado na figura 1.³ Esse processo produz hidrogênio sem emissões de gases de efeito estufa, tornando-o uma fonte de energia limpa. Para utilização do hidrogênio como fonte de energia são conhecidos: os processos termoquímicos, a eletrólise de água, biomassa, combustíveis fósseis, além de fontes renováveis de energia. Sendo a alternativa que apresenta uma maior viabilidade tecnológica e financeira a eletrólise, pois é flexível, entrega uma alta pureza e pode ser considerada limpa quando atrelada a uma fonte de energia renovável.

Figura 1: Cadeia produtiva do hidrogênio verde



Fonte: EDP (2022)

Sua aplicação é bastante vasta, visto que pode ser utilizado como combustível em células de combustível, que convertem o hidrogênio e o oxigênio em eletricidade e água, produzindo apenas vapor d'água como subproduto. Essa

tecnologia pode ser aplicada em veículos, geradores de energia elétrica e até mesmo na indústria, substituindo os combustíveis fósseis por uma fonte de energia limpa e renovável.

O seu custo é relativamente alto em comparação aos combustíveis fósseis, conforme mostrado na tabela 2, um dos motivos mais ofensores para o seu encarecimento é o alto custo da eletricidade gerada por fontes renováveis necessária para produzi-lo e o preço comercial dos eletrolisadores. No entanto, o custo do hidrogênio verde tem diminuído nos últimos anos devido a avanços na tecnologia de eletrólise e no aumento da produção em larga escala. dependendo de várias variáveis, como por exemplo: o custo da eletricidade utilizada para produzi-lo, o custo da água e dos equipamentos necessários para produzi-lo e a escala da produção.

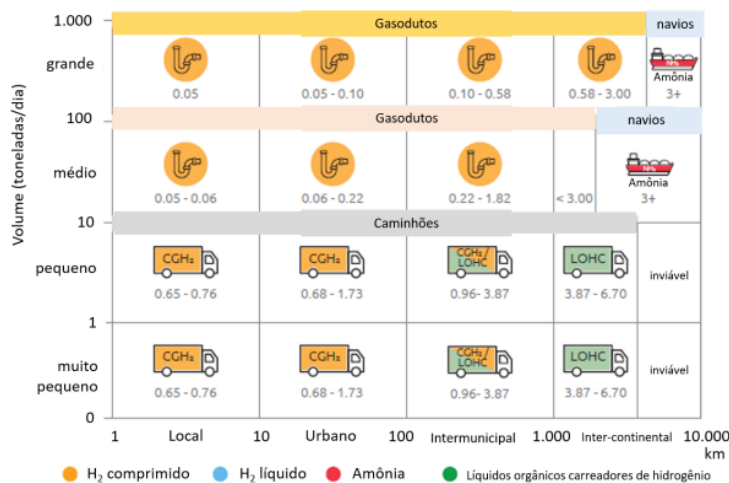
Tabela 2: Custo de produção do hidrogênio em diferentes rotas

ROTAS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO					
	Preto/Marrom	Cinza	Turquesa	Azul	Verde
Custo por Kg produzido	US\$1,80	US\$ 1,50	US\$ 2,20 a 2,60	US\$ 2,40	US\$ 3 a 6,55

Fonte: Própria

A logística do hidrogênio verde é um dos principais desafios para sua adoção em larga escala como fonte de energia limpa e renovável. Por se tratar de um gás altamente inflamável e, portanto, necessita de cuidados para o seu transporte e armazenamento. Outra problemática é devido ao seu custo alto e à necessidade de desenvolver infra estruturas para transporte e armazenamento em grande escala. O hidrogênio pode ser transportado em caminhões-tanque ou através de tubulações, mas ambos os métodos têm limitações em termos de eficiência e segurança. Uma opção para a logística do hidrogênio verde é utilizar sua produção descentralizada, em locais próximos aos locais de uso, reduzindo a necessidade de transporte em longas distâncias. Outra opção é utilizar o hidrogênio como uma forma de armazenamento de energia, produzindo-o durante períodos de excesso de eletricidade gerada por fontes renováveis e armazenando-o para uso posterior. A Figura 13, faz parte de um estudo realizado pela EPE (Empresa de pesquisa energética) e apresenta exemplos de custos de transporte de hidrogênio, com base em distâncias e volumes, considerando-se os custos de compressão e o armazenamento de 20% do volume de gás natural em uma caverna salina (ou instalação de armazenamento com custo similar

Figura 3:: Custos de transporte de hidrogênio



Fonte: EPE (2022)

Existem algumas leis relacionadas ao hidrogênio verde, que visam promover sua produção, uso e desenvolvimento de infraestrutura. Algumas delas incluem: Lei de Incentivo ao Hidrogênio Verde: em tramitação no Senado Federal, esta lei visa incentivar a produção e uso de hidrogênio verde por meio de incentivos fiscais e financeiros, como isenção de impostos e linhas de crédito especiais; Lei do Programa de Fomento à Geração de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis (PROINFA): esta lei estabelece metas para a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, incluindo a produção de hidrogênio verde; Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD): este programa visa fomentar a produção de energia elétrica em pequenas escalas, incluindo a produção de hidrogênio verde em locais próximos aos locais de uso. Além das leis citadas, existem acordos internacionais e políticas públicas em diversos países que incentivam a produção e uso do hidrogênio verde, como a Estratégia Nacional de Hidrogênio Verde na Espanha, o Plano Nacional de Energia de Hidrogênio na Austrália e a Iniciativa de Hidrogênio Limpo no Japão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do trabalho comparativo de rotas tecnológicas pode-se perceber que o hidrogênio possui total potencial para ser o maior modal energético. Além de ser uma opção que possui alternativas sustentáveis, pois conforme foi demonstrado no trabalho, o H₂ verde não gera nenhuma emissão de gás poluente durante a sua produção. A economia do hidrogênio apresenta estágios de inserção no mercado diferentes, e o tempo de adaptação e inserção vai ser inerente às características geopolíticas, econômicas e socioambientais de cada país. Em uma perspectiva de escala mundial o autor Mantovani (2021) cita que o hidrogênio já aponta como uma verdadeira realidade em alguns países, sendo os principais: Estados Unidos, Rússia, China, França e Alemanha. Ainda assim, é importante destacar que o hidrogênio verde não deve ser visto apenas como uma solução de custo significante para a transição para uma economia de baixo carbono. Ele é uma fonte de energia limpa e renovável que pode ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fornecer uma alternativa aos combustíveis fósseis. A redução de custos é um objetivo importante, mas não deve ser o único fator considerado ao avaliar a viabilidade do hidrogênio verde como uma fonte de energia sustentável.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Projeto de recursos humanos 27.1 da ANP; A agência de fomento FINEP por todo auxílio tecnológico e financeiro empregado para realização da pesquisa; agradeço ao SENAI CIMATEC; agradeço ao meu orientador Fernando Pellegrini.

5. REFERÊNCIAS

- [1] PEREIRA, Deydeby Illan dos Santos et al. **Desenvolvimento e avaliação do uso de eletrodos porosos de níquel para produção de hidrogênio eletrolítico**. 2019.
- [2] NASCHERT, C., 2021. **At dawn of clean hydrogen era, industrial gas giants see new horizons**. Jul.2021. Disponível em: .Acesso em: set. 2022.
- [3] BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. **Technology Roadmap: Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2016. ISBN: 9788571933866.
- [4] BAKER MCKENZIE, 2020. **Shaping Tomorrow's Global Hydrogen Market**. Jan. 2020. Disponível em: . Acesso em: out. 2022. [5] MICHAUT, C. 2021. "Turquoise hydrogen" is a viable solution without CO₂. A Review by Institut Polytechnique de Paris. Disponível em: . Acesso em: out. 2022.
- [5] Pusz J. **Alternative energy sources**. Disponível em: <http://www.fuelcells.prv.pl>. 2001. p. 57–8
- [6] Sloop L.J. **Liquid hydrogen as a propulsion fuel**. The NASA History Series, Washington (DC); 1978.

