

AÇO VERDE: ANÁLISE TEÓRICA DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DIRETA DE HIDROGÊNIO NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Milena de Souza Oliveira¹ (IC), Rogério José da Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Descarbonização. Indústria Siderúrgica. Redução Direta de Hidrogênio.

Introdução

A indústria siderúrgica é fundamental para manter o estilo de vida atual da sociedade, ela produz insumos para diversos segmentos e movimenta significativamente a economia global. Entretanto, sua demanda por grandes quantidades de energia e as altas emissões de dióxido de carbono (CO_2) principalmente devido ao uso do coque, que fornece carbono para a produção de ferro gusa nos altos-fornos, colocam esse setor em uma encruzilhada para a descarbonização.

Com o aumento dos problemas ambientais e os eventos climáticos cada vez mais intensos, a urgência do processo de redução de gases de efeito estufa (GEE) evidencia a importância de estudos de alternativas tecnológicas para esse setor, que é responsável por 7% de toda a emissão de CO_2 do planeta (Pérez-Fortes et al., 2014).

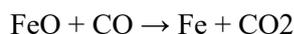
Dessa forma, este trabalho visa investigar a utilização da tecnologia de redução direta de hidrogênio (H-DR) no processo de produção de aço, por meio da análise de artigos e periódicos, e averiguar a viabilidade de sua implantação para uma produção mais sustentável ambientalmente.

Metodologia

Foi utilizada uma abordagem metodológica qualitativa-teórica por meio da pesquisa de artigos e periódicos no Google Acadêmico. Foram utilizados, para busca dos artigos, os seguintes descritores: aço verde, indústria siderúrgica e hidrogênio empregado na siderurgia. Os artigos foram selecionados de acordo com a temática proposta, possibilitando um estudo direcionado. E, por fim, foi realizada uma análise crítica das informações coletadas para o fechamento do trabalho.

Resultados e discussão

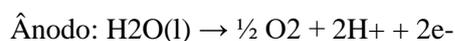
A fabricação do aço, no processo siderúrgico envolve as seguintes etapas: preparação, redução, refino e laminação. Este trabalho foi focado na redução, que é o processo de remoção do oxigênio do ferro, que se liga ao carbono geralmente injetando coque no alto-forno para converter o minério de ferro em ferro-gusa. Esse processo representa 90% da emissão de CO_2 de toda a siderurgia (Zhao et al., 2020). A equação do atual processo de redução está descrita abaixo:

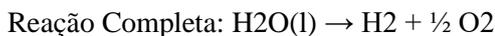
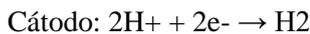


- O óxido de ferro reage com o monóxido de carbono formando ferro metálico e dióxido de carbono.

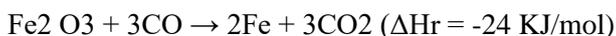
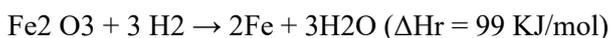
A redução direta de minério de ferro é a conversão de minério de ferro sólido em ferro metálico sem conversão para a fase líquida, geralmente utilizando o gás natural como agente redutor; já a redução direta de hidrogênio (H-DR) utiliza o H_2 como agente redutor. Essa tecnologia é considerada a mais promissora para a siderurgia, entretanto, para que a produção seja de zero carbono, o H_2 utilizado deve ser produzido pelo método da eletrólise da água e utilizando eletricidade de fontes renováveis. Este trabalho visou analisar a viabilidade da utilização do H-DR na produção do hidrogênio verde e seus aspectos tecnológicos e econômicos.

O hidrogênio possui um grande potencial energético e consegue servir de matéria prima para diversas indústrias. Atualmente, grande parte de sua produção é feita por meio de fontes fósseis, sendo que somente cerca de 4% é advindo da eletrólise da água (IEA, 2021). A eletrólise é a decomposição de água em oxigênio e hidrogênio por meio da passagem de uma corrente elétrica, e as reações desse processo podem ser vistas abaixo:





Ao utilizar o hidrogênio como agente redutor, há um maior grau de redução de minério de ferro para ferro, entretanto, essa reação é termicamente desfavorável em comparação com o uso do gás natural, devido a natureza endotérmica da reação de hidrogênio e óxido de ferro (Huang, 2013), que pode ser vista na reação a seguir:



Na siderurgia convencional, o carvão coque é usado como agente redutor do minério de ferro, em que o oxigênio reage com o carbono e forma CO_2 . Na redução direta de hidrogênio (H-DR), o oxigênio reage com carbono para formar água, substituindo assim o uso do coque reduzindo substancialmente as emissões de CO_2 no processo - cerca de 91% das emissões diretas de CO_2 poderiam ser evitadas. Abaixo está um esquema da produção de hidrogênio verde para a utilização na indústria siderúrgica.



Figura 1 - Produção de hidrogênio verde: projeto H2FUTURE

Na figura, há a geração de energia por fontes renováveis, o transporte da eletricidade na rede até o seu uso na eletrólise da água e, por fim, o uso do hidrogênio na indústria.

Alguns impasses para a consolidação dessa tecnologia é que o hidrogênio produzido pela eletrólise da água possui elevado custo em comparação ao produzido por fontes fósseis, devido ao valor da eletricidade e dos eletrolisadores. Outro fator importante a ser considerado é que para produzir o aço verde seriam necessárias grandes quantidades de energia provenientes de fontes renováveis (eólica, solar, hídrica, biomassa, dentre outras) devido a magnitude do setor siderúrgico. No Brasil, essa produção poderia se tornar viável pela significativa parcela de fontes renováveis na matriz energética, o crescimento das energias renováveis nos últimos anos e a grande utilização de hidrelétricas com

reservatório, que permite o armazenamento de energia. Outro ponto relevante é a dificuldade de armazenamento do hidrogênio gasoso, por ter baixa estabilidade e capacidade de permear materiais metálicos, ocasionando muitos problemas em seu armazenamento. A figura a seguir ilustra o consumo de energia em diferentes teores e diferentes fontes de H_2 .

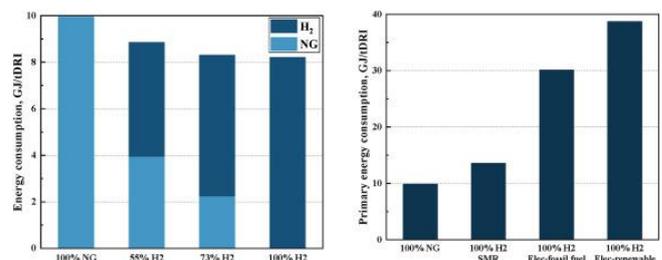


Figura 2 - À esquerda: comparação do consumo de energia com diferentes teores de H_2 ; À Direita: comparação do consumo de energia primária com diferentes fontes de H_2 (Duarte, 2019)

Conclusões

A implantação do hidrogênio na produção de ferro é a alternativa mais viável da atualidade para diminuir drasticamente as emissões de CO_2 e seus impactos para o meio ambiente. Todavia, esse processo enfrenta grandes desafios até que se torne uma tecnologia consolidada. Os principais gargalos dessa tecnologia é a produção de hidrogênio verde a partir de fontes renováveis, em capacidades suficientes para a magnitude dessa indústria e em valor competitivo aos já empregados. Uma possível solução seria um maior incentivo governamental neste setor, através da redução de impostos e a criação de resoluções específicas para ele. A indústria siderúrgica poderia desempenhar um papel muito relevante na consolidação do hidrogênio, criando demandas por grandes quantidades e, assim, propiciar o desenvolvimento de infraestruturas, além de integrar ainda mais fontes renováveis à rede elétrica. Dessa forma, atrairia mais investimentos e pesquisas para alavancar o setor e, posteriormente, firmar essa tecnologia de primordial importância para o cenário global do século XXI.

Agradecimento

A autora agradece ao Programa de Educação Tutorial – PET pela experiência e pela bolsa recebida, ao orientador pela troca de conhecimento e todo apoio neste projeto e a Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI.

Referências

WANG, R.R. *et al.* Hydrogen direct reduction (H-DR) in steel industry—An overview of challenges and opportunities. **Science Direct**, Journal of Cleaner Production, v. 329, ed. 129797, 20 dez. 2022.

LIU, Wenguo *et al.* The production and application of hydrogen in steel industry. **Science Direct**, International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, ed. 17, 8 mar. 2021.

GALITSKAYA, Elena; ZHDANEEV, Oleg. Development of electrolysis technologies for hydrogen production: A case study of green steel manufacturing in the Russian Federation. **Science Direct**, Environmental Technology & Innovation, v. 27, ed. 102517, 2022.

FILHO, Isnaldi R. Souza *et al.* Green steel at its crossroads: Hybrid hydrogen-based reduction of iron ores. **Science Direct**, Journal of Cleaner Production, v. 340, ed. 130805, 2022.

Bhaskar, A.; Assadi, M.; Nikpey Somehsaraei, H. Decarbonization of the Iron and Steel Industry with Direct Reduction of Iron Ore with Green Hydrogen. **Energies**, 13, 758, 2020.

Sasiain, A., Rechberger, K., Spanlang, A. *et al.* Green Hydrogen as Decarbonization Element for the Steel Industry. **Berg Huettenmaenn Monatsh**, 165, 232–236, 2020.