

## ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO A PARTIR DA APLICAÇÃO DE HIDROGÊNIO

**Mateus Vieira de Azevedo**<sup>1</sup>; Fernando Luiz Pellegrini Pessoa<sup>2</sup>; José Luis Gonçalves de Almeida<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável; Bolsista Centro de Competências em Hidrogênio Verde; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; mateus.azevedo@fbter.org.br

<sup>2</sup> Professor Doutor; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; fernando.pessoa@fieb.org.br

<sup>3</sup> Professor Doutor; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; jose.almeida@fieb.org.br

### RESUMO

A utilização do hidrogênio como vetor energético tem se expandido na indústria, destacando-se pelo seu potencial de descarbonização. Notavelmente, o setor siderúrgico apresenta uma aplicabilidade para o hidrogênio, substituindo o coque, matéria-prima tradicional que resulta em emissões de dióxido de carbono. Diante do surgimento de tecnologias baseadas no hidrogênio, torna-se imperativo analisar transformações na indústria siderúrgica e os impactos ambientais e operacionais. Nesse contexto, esse estudo visa avaliar a viabilidade técnica e ecológica do emprego do hidrogênio como agente redutor e combustível na fabricação do aço. Tal análise requer uma revisão bibliográfica acerca da temática e o desenvolvimento de um modelo matemático no software Aspen Plus v.12. Posteriormente, torna-se essencial a interpretação dos resultados para determinar a sua eficácia. Almeja-se que os achados deste projeto se alinhem aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, contribuindo para um processo siderúrgico mais sustentável, e reforçando o compromisso com a preservação ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Setor Siderúrgico; Dióxido de Carbono; Hidrogênio; Modelo matemático.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o hidrogênio (H<sub>2</sub>) tem sido alvo de intensa pesquisa devido ao seu papel promissor na revolução industrial. Sua aplicação transcende diversos setores, com a indústria siderúrgica emergindo como um campo particularmente propício para sua utilização.

No cerne da siderurgia, encontram-se o minério de ferro e o coque, sendo este último um agente redutor crítico que facilita a remoção do oxigênio do minério, culminando na produção do ferro metálico essencial na fabricação do aço.<sup>1</sup> Contudo, o uso do coque é marcado por uma consequência ambiental adversa: a liberação substancial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, um vetor significativo do efeito estufa.<sup>1</sup> Este desafio ambiental impulsiona a necessidade de investigações voltadas para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A substituição do coque pelo hidrogênio como agente redutor representa uma inovação potencialmente transformadora, prometendo um processo siderúrgico mais verde e sustentável.

O setor siderúrgico emite anualmente 2,8 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que representa 7% das emissões globais que são emitidas por indústrias.<sup>2</sup> Além disso, para cada tonelada de aço produzido 1,89 toneladas de CO<sub>2</sub> é emitida.<sup>3</sup> Somado a isto, o aço tem uma importância muito grande para sociedade, o que torna necessário à sua produção em grandes quantidades, o que é justificado pelo fato de somente em 2022 terem sido produzidos 1885 milhões de toneladas de aço no planeta, agravando ainda mais a quantidade de CO<sub>2</sub> gerada.<sup>4</sup>

Ao analisar estes dados percebe-se a necessidade de mudanças neste setor para que ele se torne sustentável, assim surge como alternativa a utilização do H<sub>2</sub> de baixo carbono. Nos últimos anos surgiram alguns processos que possibilitam o seu uso, como o Midrex e o Hybrit. O processo Midrex, um dos mais relevantes, tem como princípio a utilização de gás natural para produção do hidrogênio que é utilizado como agente redutor, no entanto ainda ocorre a produção de CO<sub>2</sub> no processo, mas em menores quantidades o que já representa um avanço para o desenvolvimento da sustentabilidade do setor siderúrgico.<sup>5</sup>

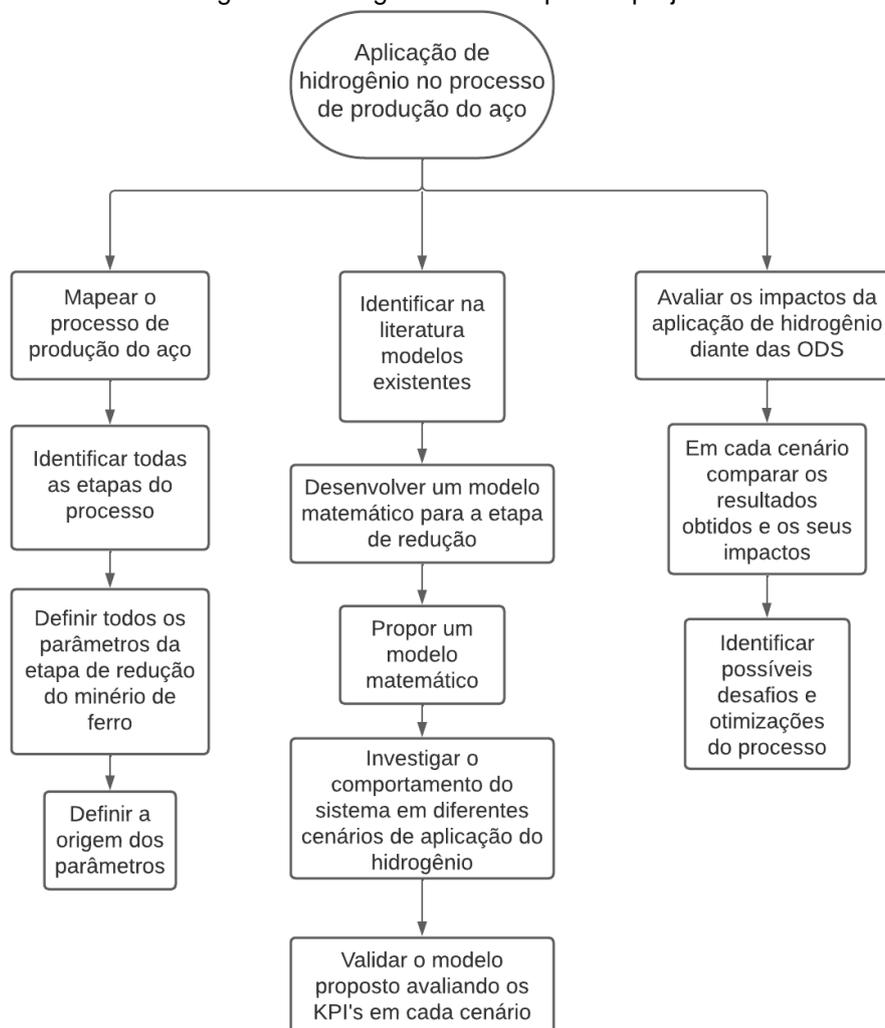
Observa-se então como o H<sub>2</sub> pode ser benéfico as siderúrgicas e estes benefícios se relacionam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, do qual dentre os 17 objetivos, tem-se destaque o impacto ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) com foco em melhorias nas infraestruturas e mudanças nas indústrias para torná-las sustentáveis e com eficiência no uso de recursos para obtenção de processos mais limpos e ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) com foco na integração de medidas de mudança do clima nas políticas e planejamentos nacionais.<sup>6</sup>

Por fim, observa-se a necessidade de analisar mudanças no setor siderúrgico a partir da aplicação de hidrogênio e seus impactos frente as ODS. Desta forma, o objetivo do projeto é analisar a viabilidade técnica e ambiental da utilização de hidrogênio como agente redutor e combustível no processo de produção de aço.

## 2. METODOLOGIA

O projeto será realizado com base nas etapas para desenvolvimento do projeto demonstrado no fluxograma na figura 1.

Figura 1. Fluxograma das etapas do projeto



Fonte: Própria

O fluxograma representa todas as etapas necessárias para a elaboração do projeto. Começa pelo mapeamento do processo, seguida por uma revisão bibliográfica sobre o tema para identificar todas as fases do processo, os parâmetros necessários para o estudo e as tecnologias existentes. Na próxima etapa, o foco está no desenvolvimento do modelo matemático para a fase de maior impacto ambiental no processo: a etapa de redução que ocorre no alto forno. Será utilizado o software Aspen Plus v.12 para validar o modelo, considerando os indicadores-chave de desempenho (KPI) nos cenários de aplicação do H<sub>2</sub>. Um cenário se concentra no H<sub>2</sub> como agente redutor, enquanto o segundo considera o H<sub>2</sub> como agente redutor e combustível. Por fim, avaliaremos os impactos da aplicação de H<sub>2</sub> no processo e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), comparando os resultados obtidos com dados reais e identificando os desafios que essa tecnologia pode enfrentar para ser adotada.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É importante identificar como funciona a utilização do H<sub>2</sub> no processo de redução do minério de ferro, visto que o intuito com a sua aplicação é a diminuição das emissões de gás CO<sub>2</sub>, como pode-se ver nas reações 1, 2 e 3.<sup>1</sup>



Ao analisar as reações percebe-se a mudança de gás que é eliminado ao final das reações, sendo o vapor de água. Com isso, percebe-se o impacto que a aplicação de hidrogênio tem no processo de redução.

Portanto faz-se necessário realizar uma revisão bibliográfica sobre essa etapa e encontrar alguns trabalhos referentes ao tema estudado. Alguns trabalhos trazem modelagens matemáticas que calculam as etapas de redução do minério, para diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> e os impactos causados, como por exemplo os trabalhos “*Modeling and simulation of hydrogen injection into a blast furnace to reduce carbon dioxide emissions*” e “*Impact of Hydrogenous Gas Injection on the Blast Furnace Process: A Numerical Investigation*”.<sup>7, 8</sup>

Importante destacar que no primeiro trabalho é feito um modelo do alto-forno usando hidrogênio como agente redutor auxiliar para analisar o potencial de redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Semelhante ao trabalho proposto neste documento, esse modelo também foi construído no Aspen Plus. Ao final o autor consegue encontrar uma diminuição de 21,4% das emissões de CO<sub>2</sub> a partir do modelo desenvolvido.<sup>7</sup>

Já no segundo trabalho encontrado na literatura foi aplicado um modelo para investigar o efeito da injeção de H<sub>2</sub> no desempenho e estado interno do forno. Ao final do trabalho o autor encontra que a redução de H<sub>2</sub> é intensificada pelo enriquecimento de hidrogênio parcialmente as custas da redução por CO. Além de identificar também que a obtenção de água no gás de topo é intensificada afetando a utilização de CO e H<sub>2</sub> do gás.<sup>8</sup>

Por fim, observa-se que existem alguns desafios em relação à aplicação do H<sub>2</sub> na indústria siderúrgica. O principal deles é o custo, que pode ser até 30% mais elevado do que o processo tradicional que utiliza coque. Além disso, o aço é uma liga composta principalmente de Fe, mas também contém cerca de 3% de Carbono. Portanto, é necessário incorporar esse elemento no processo de redução, mesmo que isso resulte em emissões de CO<sub>2</sub>, ainda que em pequena quantidade. Assim, torna-se essencial estudar maneiras de adicionar o H<sub>2</sub> ao processo e tornar a indústria siderúrgica mais sustentável.<sup>5</sup>

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que foi apresentado percebe-se a necessidade de um estudo frente ao desenvolvimento sustentável do processo siderúrgico. Desta forma, ao final do projeto será entregue um modelo matemático no Aspen Plus para representar o processo de produção do aço e assim obter resultados que possibilitem mudanças na indústria siderúrgica.

Ademais, a partir dos indicadores de desempenho será possível melhorar o modelo com o intuito de alcançar a menor emissão de CO<sub>2</sub> e reduzir os impactos do processo, como também identificar maneiras de viabilizar a tecnologia.

Por fim, o projeto irá contribuir com os ODS da ONU visando a redução das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera a partir de um processo mais limpo, como também a diminuição nas alterações climáticas através da descarbonização e produção de baixo carbono.

#### Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus orientadores José Luis Gonçalves de Almeida e Fernando Luiz Pellegrini Pessoa por auxiliarem durante toda a etapa de construção do projeto. Como também aos colegas de trabalho que auxiliaram tirando dúvidas e dando suporte para elaboração do mesmo. Por fim, agradecer ao Centro Universitário SENAI CIMATEC e ao Centro de Competências de Hidrogênio Verde.

#### 5. REFERÊNCIAS

- 1 ARAÚJO, L. A. **Manual de siderurgia**. São Paulo. Editora Arte & Ciência. 2ª edição. Vol. 1. 2005.
- 2 PEI, Martin, PETÄJÄNIEMI, Markus REGNELL, Andreas e WIJK, Olle. **Toward a fossil free future with hybrit: Development of iron and steelmaking technology in Sweden and Finland**. Metals, v. 10, n. 7, p. 1–11, 1 jul. 2020.
- 3 MUSLEMANI, Hasan. **Stainless Green: Considerations for making green steel using carbon capture and storage (CCS) and hydrogen (H2) solutions**. Oxford Institute for Energy Studies. 2023
- 4 World Steel Association. **World steel in figures**. 2022. Disponível em: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/>. Acesso em: 10 de março de 2024.
- 5 WANG, R.R., ZHAO, Y.Q., BABICH, A., SENK, D., e FAN, X.Y. **Hydrogen Direct Reduction (H-DR) in Steel Industry—An Overview of Challenges and Opportunities**. Journal of Cleaner Production 329, 2021.
- 6 NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 de março de 2024.
- 7 YILMAZ, C.; WENDELSTORF, J.; TUREK, T. **Modeling and simulation of hydrogen injection into a blast furnace to reduce carbon dioxide emissions**. Journal of Cleaner Production, v. 154, p. 488–501, jun. 2017.
- 8 MAURET, F. et al. **Impact of Hydrogenous Gas Injection on the Blast Furnace Process: A Numerical Investigation**. Metallurgical and Materials Transactions B, v. 54, n. 4, p. 2137–2158, ago. 2023.