Simulação computacional da utilização parcial de HBI (*hot briquette iron*) em altos-fornos para redução de gases de efeito estufa

Alonso, C. B.[1]; de Castro, A. J.[1]

[1]Universidade Federal Fluminense, Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica.

Palavras-chave: Descarbonização; Processo Siderúrgico; Hot Briquette Iron (HBI); Altos-Fornos.

INTRODUÇÃO

Segundo a *World Steel Association* (2023)[1], a produção global de aço atingiu 1.892 milhões de toneladas, representando um aumento de 2 milhões de toneladas em relação a 2022. O Brasil contribuiu com 31,9 milhões de toneladas, ocupando a décima posição no ranking dos maiores produtores mundiais de aço[1,2].

Para atender à extensa cadeia de valor do aço, mais de 70% da produção mundial atualmente utiliza a rota tradicional de BF-BOF (do inglês *blast furnace – basic oxygen furnace*), amplamente considerada a mais vantajosa em termos de custo e benefício, além de fornecer produtos para diversos setores que dependem do aço[2]. Embora, ao longo dos anos, tenham ocorrido avanços nos altos-fornos para operar de maneira estável com uma variedade de matérias-primas ambientalmente corretas[3], a escassez de carvão e a crescente demanda por matérias-primas sustentáveis têm impulsionado estudos nos últimos anos sobre processos alternativos de produção de aço.

Nesse contexto, o setor siderúrgico é classificado como *hard-to-abate* (HTA), sendo um dos principais setores industriais que enfrentam desafios significativos na redução das emissões de carbono, ou seja, possui dificuldades para descarbonizar sua cadeia produtiva. Segundo pesquisa da *International Energy Agency* (IEA), a indústria siderúrgica é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE) relacionados ao processo produtivo, representando aproximadamente 7% das emissões globais de GEE devido ao alto consumo de compostos ricos em carbono. Além disso, ocupa o segundo lugar em termos de consumo de energia[4].

Diante dos desafios enfrentados pela sociedade e, especialmente, pela indústria siderúrgica na transição para a produção de aço de baixo carbono, este trabalho tem como objetivo realizar uma simulação computacional para avaliar a utilização parcial do HBI (*hot briquetted iron*) como substituto ao minério de ferro e/ou às pelotas, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa.

METODOLOGIA

A simulação computacional explorada foi por meio do simulador de alto forno baseado em multifásica por meio da linguagem de programação Fortran 90. A escolha do Fortran 90 se deve à sua eficiência em cálculos numéricos e à ampla aceitação na comunidade científica e de engenharia para a resolução de problemas complexos. O modelo de alto-forno utilizado é baseado no método de volumes finitos, onde consiste em simular os fenômenos que ocorre no interior do alto-forno aplicando na obtenção dos balanços de momento, massa e energia por meio da implementação de variantes da equação geral de transporte.

E para a obtenção dos valores absolutos em toneladas de CO_2 foi realizada a conversão dos valores das entradas e saídas do processo através da multiplicação por um fator de emissão, ou seja, um fator que possibilita comparar diferentes processos e tecnologias em termos de emissões equivalentes. Os fatores de emissão foram determinados a partir de dados da literatura *World Steel Association – WSA* (*CO_2 Data Collection – version 11*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da execução da simulação computacional foram obtidos os resultados encontrados na Tabela 1, onde foi simulado um cenário base para meios de comparação e uma variação de utilização de HBI entre 5 e 25%. É possível identificar que com a utilização de 25% de HBI, 12% de minério de ferro, 31% de sínter e 32% de pelota houve uma redução de aproximadamente 118 kg/tHM no *coke rate* em relação ao cenário base. Além de identificar aumento de 1,51 tHM/dia/m³ na produtividade e redução de *fuel rate* de 104,4 kg/tHM.

Os cálculos da emissão absoluta de CO_2, a intensidade de emissão e a emissão absoluta evitada também foram calculados por meio dos resultados evidenciados na Tabela 1 e estão representados na Tabela 2.

É possível observar que, com base nos dados de simulação e no cálculo de CO_2, a utilização de 25% de HBI na carga metálica resulta em uma redução de mais de um milhão de toneladas de CO_2 por ano. Considerando que uma siderúrgica do tipo BF-BOF emite cerca de 9 a 10 milhões de toneladas anuais, essa redução corresponde a aproximadamente 10% das emissões totais da planta.

Tabela 1 – Resultados da simulação computacional da utilização parcial do HBI.

Parâmetro Operacional	Base	5%	15%	25%
Produtividade (tHM/dia/m³)	2,62	3,04	3,40	4,13
Coke rate (kg/tHM)	305,10	271,40	235,80	186,30
Minério de Ferro (kg/tHM)	193,90	188,90	177,70	168,80
Sínter (kg/tHM)	906,30	803,90	607,90	436,60
Pelota (kg/tHM)	515,00	501,60	472,00	448,40
HBI (kg/tHM)	0,00	78,90	222,50	352,30

Fonte: Próprio autor (2024).

Tabela 2 – Resultados das emissão de gases de efeito estufa.

Parâmetro	Base	5%	15%	25%
Emissão absoluta (tCO_2 e/ano)	5.752.329	6.199.801	6.375.362	6.723.551
Intensidade (tCO_2 e/t HM)	1,86	1,73	1,58	1,38
Intensidade c/Aciaria (tCO_2 e/t HM)	2,06	1,93	1,78	1,58
Emissão evitada (tCO_2 e/ano)	-	-403.273	-636.468	-1.077.791

Fonte: Próprio autor (2024).

Em 2023, o Grupo *Kobelco* realizou um teste de aproximadamente dois meses de utilização de HBI em seu alto-forno. De acordo com a *Kobe Steel*, os resultados demonstraram que essa tecnologia pode reduzir as emissões de CO_2 em até 25% em comparação com métodos convencionais, além de alcançar a menor taxa de coque do mundo (230 kg/tHM) durante o teste.

Os resultados obtidos pela simulação computacional indicaram uma redução de aproximadamente 19% nas emissões de CO_2 em relação ao cenário base, com uma taxa de coque de 186 kg/tHM. Embora esses resultados estejam próximos dos alcançados pela *Kobe Steel* em testes industriais, é importante ressaltar que as características dos altos-fornos utilizados são distintas. No entanto, é possível afirmar que essa tecnologia permite uma redução estável e significativa nas emissões de CO_2 em altos-fornos comerciais de grande porte.

CONCLUSÕES

A pesquisa acadêmica sobre a redução de gases de efeito estufa é fundamental para que a sociedade e as empresas compreendam os riscos e os impactos das mudanças climáticas. Através deste estudo, foi possível concluir que a utilização parcial de HBI (*hot briquetted iron*) na carga ferrífera de altos-fornos convencionais é eficaz tanto na redução das emissões de gases de efeito estufa quanto no aumento da produtividade dos fornos, devido à composição química do HBI, que apresenta um alto percentual de ferro.

Entretanto, é importante ressaltar que, para uma avaliação mais precisa do impacto operacional do HBI em escala industrial, são necessários testes em altos-fornos, além de uma análise dos custos associados, considerando o alto valor do HBI, a segurança operacional e os impactos ambientais. Esses aspectos não foram abordados neste estudo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

[1] WSA. World Steel Association *et al*. Total production of crude steel. **World Steel Association**, 2024.
[2] DUTTA, S.K. *et al*. Direct reduced iron: Production. **Encyclopedia of Iron, Steel, and Their Alloys**, p. 1082-1108, 2016.
[3] ROSS, H. U. The fundamental aspects of iron ore reduction, 1973.
[4] KÖRNER, A. *et al*. Technology roadmap-hydrogen and fuel cells**. International Energy Agency (IEA): Paris, France**, p. 1-29, 2015.