

REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA A PARTIR DE SUA RECIRCULAÇÃO EM UM ALTO-FORNO

REDUCTION OF WATER CONSUMPTION FROM ITS RECIRCULATION IN A BLAST FURNACE

REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA PROCEDENTE DE SU RECIRCULACIÓN EN ALTO HORNO

Márcio José da Costa¹
Marcelo Henrique Souza Bomfim²

RESUMO: A indústria siderúrgica utiliza elevado consumo de água para a refrigeração de altos-fornos. Muitas vezes o insumo pode ser reutilizado, mas é descartado causando grande impacto ambiental. Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo apresentar uma alternativa para redução do consumo da água utilizada na siderurgia, por meio da metodologia conhecida como recirculação em um alto-forno. Como metodologia utilizou-se uma pesquisa de abordagem qualitativa/quantitativa, de natureza aplicada, descritiva quanto aos objetivos, desenvolvida por meio de um estudo de caso realizado em um alto-forno de uma indústria siderúrgica situada na região central do estado de Minas Gerais. Como resultado, o trabalho obteve uma economia de 95% da água utilizada no processo, que corresponde a cerca de 200.000 m³/dia. Conclui-se que a minimização do consumo de água apresenta vantagens ambientais e econômicas, sendo uma ferramenta indispensável para a promoção da sustentabilidade ambiental dentro de uma indústria siderúrgica.

674

Palavras-chave: Alto-Forno. Impacto Ambiental. Recirculação.

ABSTRACT: The steel industry uses high water consumption for the cooling of blast furnaces. Often the input can be reused, but it is discarded causing great environmental impact. Thus, the present research aims to present an alternative to reduce the consumption of water used in the steel industry, through the methodology known as recirculation in a blast furnace. As a methodology, a qualitative/quantitative research approach was used, of an applied nature, descriptive as to the objectives, developed through a case study carried out in a blast furnace of a steel industry located in the central region of the state of Minas Gerais. As a result, the work achieved savings of 95% of the water used in the process, which corresponds to about 200,000 m³/day. It is concluded that the minimization of water consumption has environmental and economic advantages, being an indispensable tool for the promotion of environmental sustainability within a steel industry.

Keywords: Blast Furnace. Environmental Impact. Recirculation.

¹Formação Acadêmica Engenharia Mecânica Instituto Federal de Minas Gerais. E-mail: marciojcosta85@hotmail.com.

²Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais, 2021. E-mail: marcelobomfim@ifmg.edu.br.

RESUMEN: La industria siderúrgica utiliza un alto consumo de agua para el enfriamiento de los altos hornos. Muchas veces el insumo se puede reutilizar, pero se desecha causando un gran impacto ambiental. Así, la presente investigación tiene como objetivo presentar una alternativa para reducir el consumo de agua utilizada en la industria siderúrgica, a través de la metodología conocida como recirculación en un alto horno. Como metodología se utilizó un enfoque de investigación cualitativo/cuantitativo, de carácter aplicado, descriptivo en cuanto a los objetivos, desarrollado a través de un estudio de caso realizado en un alto horno de una industria siderúrgica ubicada en la región central del estado de Minas Gerais. . Como resultado, la obra logró un ahorro del 95% del agua utilizada en el proceso, lo que corresponde a unos 200.000 m³/día. Se concluye que la minimización del consumo de agua tiene ventajas ambientales y económicas, siendo una herramienta indispensable para la promoción de la sustentabilidad ambiental dentro de una industria siderúrgica.

Palabras clave: Alto Horno. Impacto Ambiental. Recirculación.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria da mineração de ferro tem grande importância na economia, pois representa uma das atividades mais rentáveis para o país devido aos recursos financeiros envolvidos, que vão desde a análise mineral para determinar as jazidas minerais, seguido pela comercialização dos produtos do minério de ferro, sendo fonte de investimento e geração de empregos. A produção do minério de ferro do país se encontra concentrada nos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul (SANTOS FA, 2021).

O minério de ferro é a fonte primária para as indústrias siderúrgicas mundiais, essencial para a produção de aço e para manter uma forte base industrial. De acordo com os dados estatísticos publicados em 2019 pela instituição científica *United States Geological Survey* (USGS), cerca de 98% de todo minério de ferro extraído no mundo é destinado para a siderurgia (USGS, 2019).

A indústria siderúrgica é importante fornecedora de insumos para diversos outros setores da indústria de transformação e construção civil. Esse tipo de indústria caracteriza-se pela presença de grandes empresas, em geral verticalizadas, que operam em diversas fases do processo produtivo, que vão desde a transformação do minério em ferro primário (ferro gusa), até a produção de bobinas laminadas a quente, a frio e galvanizadas para aplicação em produtos na indústria automotiva, de bens de capital, naval, de linha branca, dentre outras. Os laminados longos como os vergalhões, são muito utilizados nos segmentos de habitação e infraestrutura (CARVALHO PSL et al, 2015).

Na siderurgia, a água apresenta-se como um elemento de vital relevância, visto que a disponibilidade da água sempre foi considerada como um fator fundamental para o seu desenvolvimento. Na siderurgia a água é utilizada em larga escala como fluido de refrigeração e transporte de energia dos equipamentos e produtos, em sistemas de controle ambiental e no tratamento superficial do aço em diversos setores. Além disso, cabe citar que o processo é realizado em circuito fechado, o que permite o tratamento e reaproveitamento da água, e dessa forma, reduz a necessidade de captação e impacto ambiental (SILVEIRA GE, 2010).

Neste sentido, ao considerar a água como um recurso natural de grande importância para a indústria, devido a sua valiosa participação no setor produtivo, é possível perceber que a maioria das indústrias siderúrgicas priorizam a diminuição dos recursos hídricos, especificamente no uso demasiado da água (SANTOS AB, 2014). Dessa forma, o presente artigo busca apresentar uma alternativa para redução do consumo da água utilizada na siderurgia, por meio da metodologia conhecida como recirculação.

Assim, para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado um estudo de caso em uma indústria siderúrgica situada na região central de Minas Gerais. Na sequência, são descritos os passos metodológicos; os procedimentos de seleção, coleta e análise de dados; referencial teórico; resultados e discussões; e conclusão.

MÉTODOS

O presente artigo contempla, uma pesquisa de abordagem qualitativa/quantitativa, de natureza aplicada, descritiva quanto aos objetivos, desenvolvida por meio de um estudo de caso realizado em uma indústria siderúrgica situada na região central do estado de Minas Gerais.

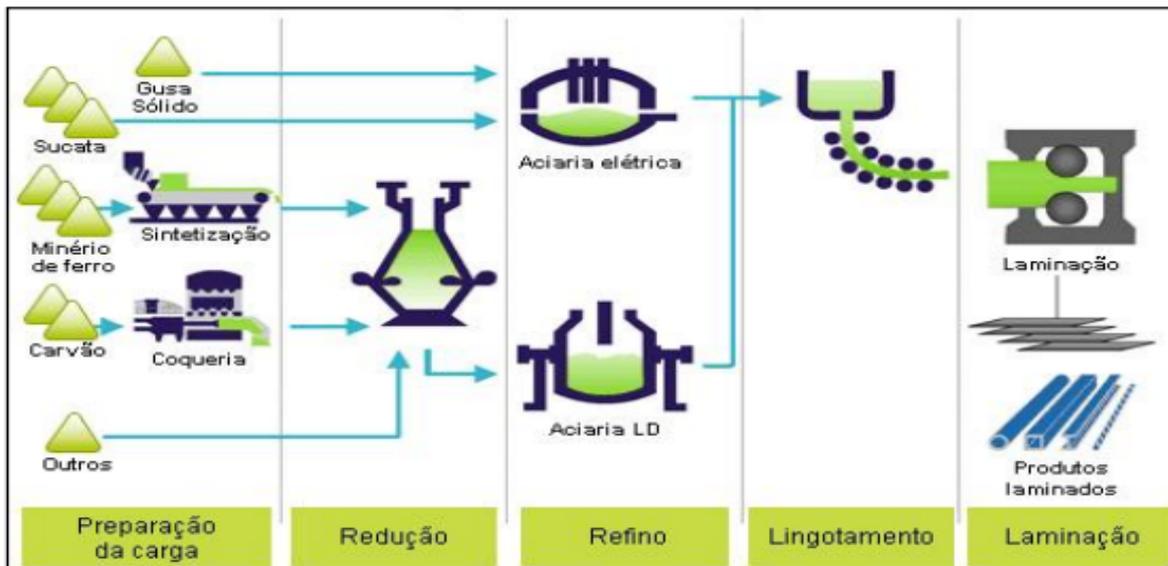
Os dados coletados neste estudo compreendem informações sobre o processo de recirculação da água para resfriamento de alto-forno, e planilhas com dados quantitativos sobre o controle operacional da recirculação da água no alto-forno (AF 02), referente ao primeiro semestre de 2022, além de abranger o controle de vazão e temperatura. Importante considerar que a água utilizada pela indústria siderúrgica é captada em um lago artificial construído para suprir as necessidades da indústria.

Após caracterizar o processo de recirculação da água para resfriamento do AF 02, posteriormente são analisados os dados quantitativos voltados para análise do método de recirculação e a economia obtida em m³/dia.

UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NA SIDERURGIA

A produção do aço em uma indústria siderúrgica integrada possui cinco grandes etapas, que compreendem na preparação de cargas; redução; conversão e refino; lingotamento e laminação, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática simplificada das etapas de produção do aço



Fonte: França AL (2014, p. 7).

677

Segundo o Instituto Aço Brasil (2022), as usinas siderúrgicas são classificadas de acordo com seus processos produtivos em integradas que operam em três fases (redução, refino e laminação), que participam de todo o processo produtivo e produzem aço; e semi-integradas, que operam em duas fases (refino e laminação). Essas usinas partem do ferro gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquiridas de terceiros para transformá-los em aço nas aciarias elétricas e sua posterior laminação.

Além disso, em função dos produtos, as usinas também recebem uma classificação específica; semi-acabados (placas, blocos e tarugos); planos aços carbono (chapas e bobinas); planos aços especiais/ligados (chapas e bobinas); longos aços carbono (barras, perfis, fio máquina, vergalhões, arames e tubos sem costura); longos aços especiais/ligados (barras, fio máquina, arames e tubos sem costura) (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2022).

No que se refere a utilização da água, as indústrias siderúrgicas utilizam grandes quantidades em seus processos, “conforme a configuração da indústria, a integração e a complexidades de seus processos constituintes, a capacidade de reutilização e a localização” (FRANÇA AL, 2014, p. 7).

A utilização da água em uma indústria siderúrgica varia de acordo com os requerimentos de processo, sendo utilizada para três propósitos principais:

Transferência de calor – Representa o principal consumo de água em uma usina siderúrgica integrada. A obtenção de ferro gusa e, posteriormente, do aço, ocorre por meio de aquecimento das matérias primas a temperaturas da ordem de 1.425 a 1.650 °C, necessariamente superiores à temperatura de fusão do ferro, enquanto que operações de laminação a quente requerem o aquecimento de placas de aço a temperaturas entre 1.150 e 1.260 °C. Os equipamentos de processo são protegidos por uma combinação de revestimento refratário e resfriamento com água do refratário e da carcaça metálica do equipamento.

Controle de poluição do ar e condicionamento de gases – As principais correntes de gases formados no processo siderúrgico integrado, quais sejam, gás de coqueria, gás de alto-forno e gás de aciaria devem ser tratados, por meio de lavadores de gases, para remoção de poluentes do ar. São cada vez mais comuns plantas que reutilizam estas correntes de gases como alternativa a combustíveis fósseis em caldeiras para a cogeração de vapor e eletricidade. A água também é utilizada para a absorção de gases nas operações de acabamento.

Condicionamento de materiais – em menor quantidade que nos dois casos anteriores, utiliza-se água com propósitos diversos, para melhorar a qualidade de matérias primas e produtos ao longo da produção do aço. Dentre os principais exemplos podem ser citados os seguintes usos: como elemento aglomerante na mistura a sinterizar; na granulação de escória gerada pelos altos fornos; na remoção de carepa na laminação a quente; como solvente para ácido nas operações de decapagem; rinsagem nas operações de limpeza e como solvente nos banhos de deposição eletrolítica, nas operações de acabamento. (FRANÇA AL, 2012, p. 22-23).

Desse modo, a geração de efluentes líquidos industriais encontra-se ligada diretamente à quantidade e à maneira como a água é consumida nas diversas operações siderúrgicas. Apesar de grande parte do consumo de água está associada às demandas por resfriamentos de equipamentos, a vazão de efluentes líquidos gerados é grande, e os contaminantes contidos nele influenciam na qualidade dos corpos receptores, caso não seja realizado o tratamento adequado (FRANÇA AL, 2014).

Conforme destacam os autores Araújo ER, Olivieri RD e Fernandes FR (2014), tanto a mineração quando a siderurgia se caracteriza como um ramo gerador de variados tipos de impactos ambientais, que vão desde os estudos iniciais de exploração, das instalações de estruturas administrativas e operacionais, e durante todo o processo de extração do mineral, beneficiamento e venda do produto. Como subproduto do processo, o rejeito industrial é um dos mais complexos tipos de efluente a ser tratado, produzido pelo processo de tratamento do minério de ferro e aço, devido à complexidade de seus componentes.

O art. 29 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008 descreve todos os critérios ambientais a serem seguidos, tal como, os padrões de lançamento do efluente no meio ambiente. Dessa maneira, a validação do monitoramento é feita

por meio da avaliação laboratorial dos parâmetros estabelecidos, em que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam às condições e padrões previstos no referido artigo.

De acordo com Marcelino RB (2013), as características físico-químicas dos efluentes industriais permitem a correlação com os padrões das leis ambientais e contribuem para a melhor escolha do tipo de tratamento a ser implantado. Os tratamentos devem ser simples, porém com tecnologia suficiente para remoção dos poluentes presentes e enquadramento dos efluentes tratados dentro das exigências das legislações vigentes.

Nesse cenário, além do tratamento do efluente para ser lançado no meio ambiente existe o processo de reutilização ou reuso da água no processo. De acordo com Santos AB (2014) o reuso pode ser classificado como indireto e direto. O indireto ocorre quando o efluente doméstico ou industrial é lançado em águas superficiais e é usado novamente de forma diluída. Já o reuso direto é feito de forma planejada sendo o efluente tratado usado para fins de irrigação, reposição de torres de resfriamento, recargas de aquíferos, produção de água potável, dentre outros. A reciclagem se apresenta como o reuso da água dentro de uma indústria, com o intuito de economizar água e diminuir o impacto ambiental.

Santos AB (2014) destaca que a água de reuso é utilizada para a rega de áreas verdes e aplicação industrial como reposição de torres de resfriamento ou caldeiras, e que para cada caso é necessário desenvolver tratamentos para atender aos parâmetros de qualidade da água.

Segundo o Instituto Aço Brasil (2020), a água utilizada em operações de uma indústria de aço pode ser recirculada ou tratada para em seguida ser lançadas em corpos hídricos. Assim, grande parte da água usada circula novamente nas instalações e apenas uma pequena parte dela retorna aos rios, após ser devidamente tratada.

METODOLOGIA DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA EM ALTO-FORNO

As empresas do setor siderúrgico seguem investindo em sistemas de recirculação de água, com o intuito de reduzir a demanda de fontes externas. Além disso, é importante frisar que essas empresas reutilizam quase que a totalidade de água doce necessária no processo de produção de aço. Conforme dados divulgados pelos Instituto Aço Brasil (2020), em 2018, o percentual de reaproveitamento foi de 95% e, em 2019 e 2020, atingiu o equivalente a 97%, em m³ compreendem os valores: 2018 (5.001 bilhões), 2019 (4.647 bilhões), e 2020 (4.701 bilhões).

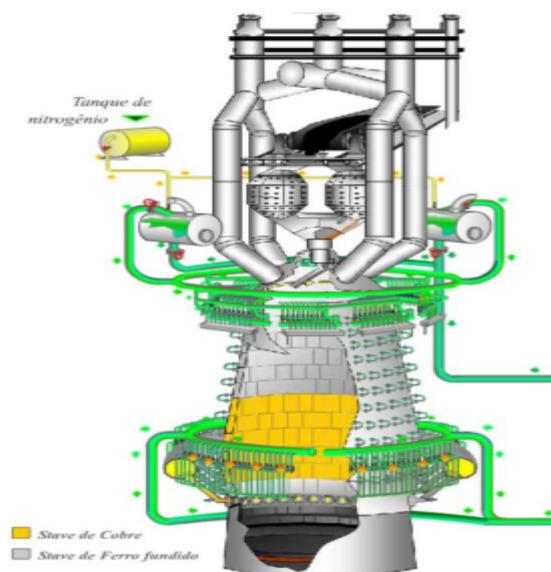
Conforme destaca França AL (2012), o processo siderúrgico é caracterizado por elevadas perdas de água por evaporação, que ocorrem em operações como granulação de escória nos altos

fornos e aciaria, apagamento de coque, aspersão de água para resfriamento de aço no lingotamento e laminação, além de perdas por evaporação e respingos em torres de resfriamento, que são utilizadas em larga escala em sistemas de resfriamento tanto por contato direto quanto por indireto.

A refrigeração objetiva preservar a estrutura física do alto-forno. Dessa forma, nos refratários e estrutura metálica, é usado um sistema de refrigeração constituído de caixas ou placas de refrigeração e *stave cooler*. As placas de refrigeração são confeccionadas de ferro fundido, aço ou cobre, visto que o cobre possui melhor condutividade térmica, que são colocadas entre os tijolos refratários e resfriados por água. Devido as placas possuírem contato direto com os tijolos, elas apresentam boa eficiência no processo de refrigeração. Como desvantagem, cabe citar a preservação de vazamento de gás, pois elas necessitam de boa abertura na carcaça do AF (BELO EO, 2019).

Os *stave cooler* são peças fundidas de ferro ou cobre instaladas nas paredes dos altos-fornos, localizados entre a carcaça e o revestimento refratário, que possuem canais de tubulações internas, também fundidos, por onde é circulada a água responsável pelo resfriamento do forno. Neste contexto, é importante destacar que a circulação de água no *stave cooler* é sempre feita alternando-se de *stave* para *stave*, com o intuito de garantir uma maior segurança ao sistema, pois caso ocorra algum furo ou rompimento em algum tubo, será possível isolar apenas ele, de forma eu não se perca todo o conjunto de *stave*. A Figura 2, ilustra um sistema de *stave* geral de um AF (BELO EO, 2019).

Figura 2 – Sistema de refrigeração *stave cooler* de um AF.



Fonte: Gerdau (2006, citado por Belo EO, 2019, p. 28).

Em um AF, a água em circulação no circuito fechado de refrigeração é reutilizada diversas vezes, sendo dividida em primária, secundária e terciária. A água primária é utilizada nas seguintes regiões refrigeradas: 12 timpas de refrigeração das ventanias ($180 \text{ m}^3/\text{h}$), 12 ventaneiras – corpo ($300 \text{ m}^3/\text{h}$), 5 filas de caixas de cobre com 20 peças cada ($175 \text{ m}^3/\text{h}$), 4 filas de caixas de aço com 20 e/ou 16 peças em cada ($175 \text{ m}^3/\text{h}$), válvulas de ar quente dos *corpors* e anel de vento ($130 \text{ m}^3/\text{h}$), que correspondem a uma vazão total de $900 \text{ m}^3/\text{h}$ (VELLOSO CM, 2006).

Em seguida, o retorno da água de refrigeração das válvulas de ar quente dos *cowpers* e anel de vento, das timpas e dos corpos das ventaneiras é direcionado e reunido em um coletor e posteriormente bombeado para as três fileiras do *stave cooler*. Tal fase é denominada de água secundária, em que a zona a refrigerar corresponde a 3 filas de *stave cooler* com 30 peças cada, e uma vazão de $610 \text{ m}^3/\text{h}$ (VELLOSO CM, 2006).

Assim, a água de retorno da refrigeração das caixas de cobre e aço não utilizada como água secundária é encaminhada para uma tubulação principal. Neste ponto, após sua segunda utilização, entra a água de retorno dos *staves*. Nesse momento, os dois volumes de água se misturam e entram em uma temperatura de equilíbrio. Além disso, neste local, a água de refrigeração dos bicos das ventaneiras são retiradas por bombas *booster*. A zona a refrigerar corresponde a 12 ventaneiras-bico, com uma vazão de $610 \text{ m}^3/\text{h}$. Neste ponto, segue uma vazão de água de $960 \text{ m}^3/\text{h}$, que serão refrigeradas nos trocadores de calor. Importante observar que a água de alimentação dos bicos das ventaneiras não passa pelas torres de refrigeração (MOHANTY TR, et al., 2015).

Os trocadores de calor, são em 05 unidades e apresentam, de forma individual, a capacidade de resfriar $320 \text{ m}^3/\text{h}$, que no total apresenta uma capacidade de $1.280 \text{ m}^3/\text{h}$. Por fim, toda a água do circuito fechado é tratada, obedecendo as seguintes propriedades: aparência, valor do pH, condutividade, sólidos em suspensão, tamanho das partículas, contaminação biológica, cloro (livre/latente), dureza dos carbonatos, dureza total, oxigênio, ferro (total), manganês, cobre, amônia, nitratos, cloretos, sulfatos, óleo e graxa (MOHANTY TR, et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os *stave cooler* que estão instalados no AF 02 da empresa em estudo, compreendem *staves* de quarta geração, que apresentam como principais características o corpo do *stave* de ferro fundido ou cobre, com maior espessura do metal fundido, eliminação do revestimento frontal, tecnologia de refrigeração com base na circulação forçada de água (38°C), instalação de

serpentina na parte traseira, no topo e base do *stave*, aumento da vida útil do refratário em mais de 2 anos e elevação da campanha do alto forno para mais de 10 anos.

O circuito fechado de refrigeração/circulação do AF 02 trata-se de um circuito completo e compreende a alimentação de água para os *stave cooler*, ventaneiras, timpas, caixas de cobre, caixas de aço, válvulas de ar quente e unidade hidráulica. Importante citar que a água que circula dentro do circuito fechado é reutilizada diversas vezes, sendo dividida em primária, secundária e terciária.

De acordo com França AL (2012), os principais pontos de consumo de água em um alto forno são o sistema de resfriamento das diversas partes que compõe a carcaça do AF. O resfriamento das partes que compõem o AF (cadinho, rampa, cuba e ventaneiras), ao considerar as altas temperaturas de operação, constitui-se como uma das maiores demandas de água dentro de uma indústria siderúrgica.

Desse modo, a coleta de dados do controle operacional da recirculação da água do AF 02 iniciou-se no mês de janeiro de 2022. Durante o primeiro semestre de 2022 foram coletadas informações sobre o controle de vazão do AF 02, além de abranger informações sobre o controle de temperatura (alimentação indireta e retorno indireto), conforme pode ser observado na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Controle operacional da recirculação de água do AF 02 – 1º semestre de 2022

Meses	CONTROLE DE VAZÃO DO		
	AF 02	Temperatura	
	VAZÃO TOTAL	Aliment. Indireto < 28 °C	Retorno Indireto < 32 °C
	m ³ /dia	° C	° C
Janeiro	192665,90	24,73	28,84
Fevereiro	197342,26	24,69	26,80
Março	188457,00	24,90	26,50
Abril	196559,93	25,30	27,70
Mai	180945,22	24,70	26,40
Junho	191108,50	25,00	29,00
Total	1147078,81		

Fonte: dados da pesquisa (2022).

Conforme dados apresentados na Tabela 1, é possível perceber que durante o primeiro semestre de 2022 ao utilizar a metodologia de recirculação da água no AF 02, foi possível obter

uma economia de 95% da água utilizada no processo, que corresponde a cerca de 200.000 m³/dia e 1.147.078, 81 m³/semestral.

Quanto a temperatura, observa-se que a mesma se manteve em equilíbrio, o que é de suma importância para a durabilidade do AF. Conforme esclarece França AL (2012), o resfriamento da carcaça do AF é fundamental para evitar o superaquecimento da estrutura e dos materiais refratários, além de garantir segurança operacional e mais durabilidade. “Dados típicos de operação mostram que o consumo de um par de altos fornos com capacidade aproximada de 5,5 Mtpa pode ser próximo de 15.000 t/h” (FRANÇA AL, 2012, p. 56).

Assim, é importante analisar na literatura científica estudos que apresentaram resultados que convergem e divergem dos resultados apresentados neste estudo. O estudo realizado por França AL (2012), tinha como objetivo aplicar o procedimento algorítmico-heurístico Diagrama de Fontes de Água (DFA) a siderurgia, visando à minimização do consumo de água e do descarte de efluentes líquidos. Para tanto, foram formulados 20 cenários considerando reuso e reciclo de correntes, além de incluir processos regenerativos. Para análise dos cenários foi considerado seu desempenho técnico e econômico. Como resultados, o estudo apontou alguns cenários promissores. E ao comparar os cenários, revelou-se que o cenário ambientalmente mais sustentável é também o economicamente mais atraente.

No contexto econômico, segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em 2017 a Gerdau S.A, no processo de recirculação de água conseguiu gerar uma economia de 18 milhões de reais, com uma taxa de recirculação de água em sua operação siderúrgica de 97,5%, uma das maiores do mundo, e a porcentagem de água não reutilizada em sua produção de aço, 2,5%, corresponde a perdas por evaporação (IBRAM, 2017).

No que se refere a minimização do consumo de água na siderurgia, França AL (2012) ressalta que a busca pelo consumo mínimo de água para manutenção dos processos industriais, seja devido aos crescentes conflitos e custos relacionados à obtenção de água ou pelo estabelecimento de leis e regulamentos ambientais cada vez mais restritivos no que tange à sua devolução ao corpo receptor, terá papel determinante no sucesso de novos projetos e na manutenção de processos existentes, terão a sua sustentabilidade ambiental cada vez mais avaliada por uma sociedade consciente e atuante.

Além disso, o desenvolvimento de processos e equipamentos com maior eficiência energética também pode representar avanços consideráveis, voltados para diminuir o consumo

de água tanto nos sistemas de resfriamento quanto em unidades de geração de valor para aquecimento (FRANÇA AL, 2012).

No trabalho de Santos AB (2014), o autor buscou analisar algumas possibilidades de reuso do efluente gerado em uma planta siderúrgica, voltado especificamente para uma estação de tratamento de água de uma laminação que capta água do rio Paraíba do Sul e descarta os efluentes no ribeirão dos Surdos. O trabalho apresentou os desafios para a aplicação do reuso em indústrias que produzem a própria água potável.

Ainda segundo Santos AB (2014), ao simular os mesmos investimentos em uma siderúrgica que compre a água de uma empresa de saneamento, em que é possível perceber que todos os investimentos se tornam viáveis e de fácil retorno, incluindo alternativas de demandam maior investimento como no caso do tratamento da água por meio do processo de osmose reversa para reabastecimento do próprio sistema.

Neste contexto, Sousa CJ (2015) destaca em seu trabalho que a utilização da água por parte da indústria siderúrgica tem sido realizada de forma eficiente, devido as medidas que vem sendo adotadas para otimizar a reutilização ou reuso das águas de processo. Com isso, busca-se diminuir ao máximo o descarte da água e a redução da necessidade de captação de água dos rios.

CONCLUSÃO

A minimização do consumo de água e da geração de efluentes líquidos industriais não apresentam somente ganhos de sustentabilidade ambiental, mas também econômicos. No estudo analisado, constatou-se que por meio da metodologia de recirculação da água no AF 02 foi possível obter uma economia de 95% da água utilizada no processo, o que corresponde a 200.000 m³/dia. Assim, o desenvolvimento de estratégias de reutilização da água em AF apresenta significativas vantagens econômicas, e, portanto, representa uma indispensável ferramenta para a promoção da sustentabilidade ambiental dentro de uma indústria siderúrgica.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, ER; OLIVIERI, RD; FERNANDES, FRC. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. In: Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos. Francisco Rego Chaves Fernandes, Renata de Carvalho Jimenez Alamino, Eliane Araújo (org.). Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014; 13p.
- 2 .BELO, EO. Análise de falhas dos equipamentos de um alto-forno. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) – Instituto de Engenharia de Confiabilidade. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019; 71p.

3. CARVALHO, CB; PEREIRA, EL; SANTOS, AB. Mobilidade de contaminantes em solos arenosos após a aplicação de águas residuárias tratadas produzidas em indústria siderúrgica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2021; 26 (1): 819-828.
4. CARVALHO, PSL; MESQUITA, PPD; ARAÚJO, EDG. de. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. *BNDES Setorial*, 2015; 41 (1): 181-236.
5. COPAM/CERH. Conselho Estadual de Política Ambiental e Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.
6. FRANÇA, ALF. Minimização do consumo de água e da geração de efluentes líquidos em siderurgia. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Tecnologia Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012; 185p.
7. IBRAM. Gerdau reutiliza 97,5% da água da produção siderúrgica. 2017. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/gerdau-reutiliza-975-da-agua-da-producao-siderurgica/>. Acesso em: 01 ago. 2022.
8. INSTITUTO AÇO BRASIL. Processo Siderúrgico: Aprenda aqui sobre o processo de fabricação do aço e entenda as diferenças entre os tipos de usinas siderúrgicas. 2022. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>. Acesso em: 18 jul. 2022.
9. INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório 2020 de sustentabilidade. 2020. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/assets/pdf/PDF-2020-Relatorio-Aco-Brasil-COMPLETO.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.
10. MARCELINO, RBP et al. Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis: atuação do grupo de pesquisas POA Control da UFMG. *Revista da Universidade Federal de Minas Gerais*, 2013, 20(2): 358-383.
11. MOHANTY, TR; SAHOO, SK; MOHARANA, MK. Modelagem computacional de stave cooler de alto-forno com base na análise de transferência de calor em estado estacionário. *Procedia Engineering*, 2015, 127(1):940-946.
12. SANTOS, AB. Reuso de efluentes no processo industrial de siderurgia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014, 91p.
13. SANTOS, FA. Atores, recursos, contextos e políticas de apoio à economia mineral do Rio Grande do Norte: estudo de caso da ascensão e declínio da Mina Brejuí no município de Currais Novos. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Econômicas). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021, 46p.
14. SILVEIRA, GE. Sistemas de tratamento de efluentes industriais. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010, 42p.
15. SOUSA, CJF. Viabilidade econômico-ambiental da substituição do coque utilizado em alto-forno para obtenção do ferro gusa: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015, 79p.

16. USGS – Science for a changing world. Iron Ore Statistics and Information, 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/iron-ore-statistics-and-information>. Acesso em: 29 abr. 2022.
17. VELLOSO, CM. Otimização da operação do alto-forno 1 da V&M do Brasil com " STAVE COOLER" através da distribuição de carga no topo do forno. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006, 124p.