

DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DA SUCATA TIPO MISTA DE UMA USINA SIDERÚRGICA INTEGRADA DO CENTRO-OESTE MINEIRO

¹Bruno Martins Moreira; ¹bmmoreira@gmail.com; ¹Universidade do Estado de Minas Gerais;

²Athenágoras Fonseca Carvalhes; ²athenagoras.1622702@discente.uemg.br; ²Universidade do Estado de Minas Gerais;

³Brendha Elizabeth Procópio dos Santos; ³brendha.1652610@discente.uemg.br; ³Universidade do Estado de Minas Gerais;

⁴Maria Luyza Vida Caetano Rodrigues; ⁴maria.1635975@discente.uemg.br; ⁴Universidade do Estado de Minas Gerais;

⁵Suellen Náira Resende Silva; ⁵suellen.1635978@discente.uemg.br; ⁵Universidade do Estado de Minas Gerais

RESUMO: *Este artigo destaca a importância da reciclagem de sucata ferrosa no setor siderúrgico, com foco no cálculo do rendimento da sucata mista em uma usina siderúrgica integrada localizada no centro-oeste mineiro. O estudo tem como objetivo aferir o aproveitamento da sucata, reduzir perdas e custos. Além disso, uma descrição da usina siderúrgica é fornecida, destacando suas características e processos produtivos. São apresentados os tipos de sucatas ferrosas e seus processamentos, como prensa, tesoura, oxicorte, boleamento, garimpo e peneiramento. A metodologia 5W2H foi utilizada para desenvolver planos de ações que contribuem para redução das perdas, permitindo a implementação de medidas corretivas e preventivas. O uso do diagrama de Pareto é mencionado como uma ferramenta de análise para priorizar e solucionar problemas relevantes na reciclagem de sucata.*

PALAVRAS-CHAVE: Aço; Aciaria; Diagrama de Pareto; 5W2H.

ABSTRACT: *This article highlights the importance of recycling ferrous scrap in the steel industry, focusing on the calculation of mixed scrap yield in an integrated steel mill located in the Midwest region of Minas Gerais, Brazil. The study aims to assess scrap utilization, reduce losses, and costs. Additionally, a description of the steel mill is provided, highlighting its characteristics and production processes. The types of ferrous scraps and their processing methods, such as pressing, shearing, oxy-cutting, bundling, grabbling, and screening, are presented. The 5W2H methodology was used to develop action plans that contribute to loss reduction, allowing for the implementation of corrective and preventive measures. The use of the Pareto diagram is mentioned as an analysis tool to prioritize and solve relevant issues in scrap recycling.*

KEYWORDS: Steel; Steelmaking; Pareto chart; 5W2H.

1. Introdução

A indústria siderúrgica é fundamental para a economia mundial, sendo um setor estratégico para o desenvolvimento industrial e para a infraestrutura dos países. No Brasil, a indústria do aço é um dos pilares da produção nacional, possuindo empresas siderúrgicas de renome internacional que atendem o mercado interno e externo. Contribuindo também para a geração de empregos, além de impulsionar os setores de construção civil, automotivo, infraestrutura e máquinas e equipamentos do país.

Segundo Araújo (2021), no contexto da produção de aço, sabe-se que o Brasil, é um dos países mais bens colocados, se encontrando em nono lugar no ranking das maiores indústrias siderúrgicas.

Araújo (2021) observa que a capacidade instalada no Brasil é de 51 milhões de toneladas/ano, porém entre os anos de 2016 e 2018 foram produzidas apenas 35 milhões de toneladas/ ano. Há ainda uma significativa ociosidade na indústria siderúrgica, em grande parte devido ao baixo consumo interno e à entrada do aço chinês. Além disso, constatou-se que o chamado "custo Brasil", como a elevada carga tributária, por exemplo, coloca a siderurgia em desvantagem em relação aos seus concorrentes globais.

A reciclagem de sucata ferrosa é uma prática cada vez mais importante no contexto da indústria siderúrgica e da sustentabilidade, pois contribuindo para a redução de impactos ambientais e para a utilização racional dos recursos naturais.

O processo de reciclagem de sucata ferrosa gera um impacto positivo tanto para a economia quanto para o meio ambiente, uma vez que essa rota não depende exclusivamente de carga ferrosa virgem. (MOUTINHO, 2023, p. 05)

Este estudo tem como objetivo contribuir para o conhecimento técnico-científico na área de reciclagem de sucata, destacando a importância de avaliar o rendimento da sucata em um processo siderúrgico. Em particular, busca-se identificar o rendimento e estabelecer uma taxa de rendimento alvo para a sucata tipo mista, desde a sua entrada até o consumo. Além disso, destaca-se a preocupação expressa por Dos Santos (2015) em relação à redução do impacto ambiental causado pela extração de minério de ferro da natureza, ressaltando a reciclagem como uma solução viável.

Os resultados da análise do rendimento da sucata poderão ser utilizados pelas empresas para aprimorar seus processos produtivos, reduzir custos e aumentar sua competitividade no mercado. Portanto, este estudo desempenha um papel relevante ao fornecer informações e diretrizes que contribuirão para o desenvolvimento sustentável da indústria siderúrgica no Brasil utilizando a metodologia 5W2H para um plano de ação.

2. Referencial teórico

2.1. Usina integrada e sua aciaria

Uma usina integrada é uma instalação industrial completa que abrange desde a chegada do minério até a produção de aço, passando pela siderurgia primária e secundária.

A principal diferença entre as usinas integradas e semi-integradas é a ausência da etapa de redução do minério de ferro pelas minis usinas. A etapa de redução consiste na transformação do minério de ferro em ferro-gusa, ferro-esponja (DRI) ou ferro briquetado a quente (HBI), sendo utilizados para isso, altos-fornos. (CALDAS 2011, p. 24)

É na usina integrada onde ocorrem as transformações do minério de ferro em produtos siderúrgicos, suas três etapas básicas de produção são: redução, refino e laminação, ou seja, produzem aço a partir do minério de ferro (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2018).

A redução tem a entrada do minério de ferro como matéria-prima, o coque como fundente e o carvão como combustível, os dois últimos tem o intuito de redução e fusão no alto forno. O resultado é o ferro gusa (ALVES, 2016). A partir daí o refino leva o ferro-gusa líquido para a aciaria, é a fase na qual o ferro-gusa, sucata de aço e os fundentes são colocados no forno formando o aço fundido (CAMPOS, 2016). A laminação, finaliza o processo da usina integrada, segundo Caldas (2011) ela é “o aço é submetido a tratamentos físicos e químicos com o intuito de conformá-lo mecanicamente de acordo com a realidade de suas aplicações”.

2.2 Sucata ferrosa e processamentos no pátio de sucatas

A sucata ferrosa refere-se a resíduos metálicos que contêm predominantemente ferro. Como aponta Essadiqi (2003, apud ALVES, 2013, p.23) a sucata é “todo o tipo de peças metálicas que já não servem o seu propósito inicial e que podem ser fundidas para a obtenção de novos produtos”.

Segundo Laidens (2016) um pátio de sucata é “a célula responsável pelo recebimento, armazenamento, beneficiamento e movimentação da sucata metálica empregada na produção de aço”.

O Pátio de Sucatas é responsável pelo recebimento, separação, classificação e processamento da sucata, de acordo com o seu tamanho, densidade, procedência e composição química. Após processadas e

prontas para o consumo interno, as sucatas de diferentes tipos são dispostas em áreas específicas denominadas baias e carregadas no cestão. (VIEIRA, 2017, p.29)

Uma das principais atividades do pátio de sucata é a triagem e classificação dos materiais. Para otimizar essas tarefas, são empregados diversos processamentos, tais como prensa, tesoura, oxicorte, boleamento, garimpo e peneiramento.

2.3 Gráfico de Pareto e 5W2H

O Gráfico de Pareto é uma ferramenta analítica, amplamente utilizada em diversas áreas, como gestão da qualidade, engenharia, economia e tomada de decisões estratégicas. Segundo Bezzera (2021), ele prioriza os problemas, “deixando evidente as causas que devem ser resolvidas com mais prioridade”, assim dizendo, problemas podem ser resolvidos de forma mais fácil e eficiente. A base do Gráfico de Pareto é a Lei de Pareto, também conhecida como princípio 80/20, que sugere que aproximadamente 80% dos efeitos são causados por apenas 20% das causas (FONTANILLAS, 2015).

A metodologia 5W2H é muito utilizada no ramo industrial, principalmente para os aspectos relativos a qualidade e no estabelecimento de planos de ações corretivas, atuando como uma lista de atividades a serem realizadas para a solução efetiva de uma situação problema, estabelecendo o que será feito, por quem será feito, em quanto tempo será realizado, qual área da empresa ou a pessoa que é a responsável pela realização das ações, quais os motivos para determinada atividade ser feita, como as ações serão efetivadas e quais os custos envolvidos na realização destas ações (BASSAN, 2018).

3. Metodologia

Este artigo é um estudo de caso desenvolvido em uma usina siderúrgica integrada no centro-oeste mineiro, com aproximadamente 1200 funcionários e uma produção média anual de 440 mil toneladas de aço. O objetivo principal desse estudo foi identificar o rendimento da sucata tipo mista e estabelecer uma taxa alvo para o seu consumo, desde a entrada da sucata até o seu consumo final.

Para tal nesse estudo foi realizada a análise do processo de coleta das entradas das sucatas, classificando-as de acordo com o seu tipo e peso em um período de quatro meses, de setembro 2022 a

janeiro 2023. Com isso, todos materiais que entravam no pátio eram pesados via balança rodoviária e posteriormente, foi feita a demonstração das entradas de sucata no gráfico de pareto, a fim de identificar quais são as principais. Para esse estudo, foi escolhida a sucata tipo mista, devido ao seu processamento ser mais simples e assertivo. Após o seu processamento, foram destacadas as pesagens iniciais na usina e as pesagens finais, com o intuito de se obter o rendimento da sucata. Para isso, utilizou-se três cargas distintas.

De posse dos dados de rendimento da sucata foram calculados os impactos econômicos e sugerido algumas ações com o auxílio da metodologia 5W2H, a fim de aprimorar o estudo com metas e planejamentos.

4. Resultados e discussões

4.1. Entrada por tipo de sucata

Na usina analisada, a aciaria utiliza o forno EOF. Para que o processo de fabricação do aço ocorra, pode-se utilizar até 30% de sucata no forno, dependendo das características desejadas para o aço produzido. Pelo fato de que esses materiais seriam descartados, eles possuem um preço mais acessível se comparado com o gusa líquido, portanto, torna-se viável o uso pelo seu custo-benefício, fazendo com que o preço final do aço se torne mais competitivo no mercado.

O forno EOF consome em média 12 toneladas de sucatas por corrida, sendo distribuídas no cestão como mostra a Figura 1, seguindo a receita do tipo de material que será fabricado. Mensalmente, a média é de 990 corridas, sendo necessário um total de 11880 toneladas de sucatas para conseguir atender a demanda da aciaria. Para a confecção do cestão, o pacote pode atingir até 3t, sucata de gusa 1t, sucata recuperada 3t, sucata pesada 3t e o gusa sólido 5t.



FIGURA 1- Configuração do cestão. Fonte: Elaboração Própria (2023)

No setor estudado há 21 variedades de sucatas e para um melhor acompanhamento, entre os meses de setembro de 2022 a janeiro de 2023, foi levantado o montante das entradas de sucatas e as mesmas foram classificadas por tipo conforme o Gráfico 1

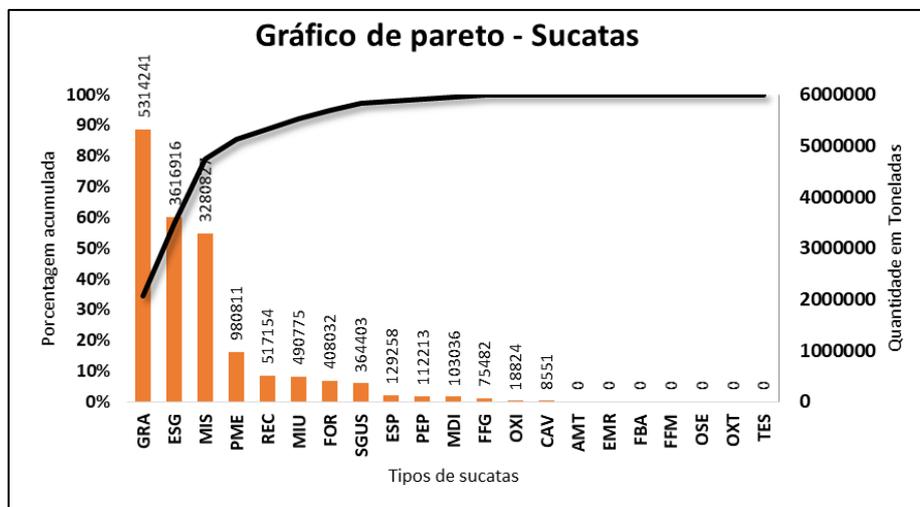


Gráfico 1 - Entrada por tipo de sucata. Fonte: Elaboração Própria (2023)

Neste período, a entrada média de sucatas foi 140 toneladas mês, sendo que o mês com a maior entrada de sucata foi novembro com 12 mil toneladas e janeiro apresentou a menor entrada de sucata com um total de 3 mil toneladas. A entrada de sucata, no pátio, sofre influência do preço de mercado do aço, pois quando o aço está valorizado o preço da sucata sobe e consequentemente compra-se menos. Quando há uma baixa procura de aço, seu preço se desvaloriza, tornando uma boa oportunidade de compra de sucata visto que o preço dela se torna mais acessível.

Como as sucatas do tipo GRA e ESG apresentam um fluxo de processamento mais complexo que dificulta a aquisição de dados para análise, foi decidido direcionar o estudo para a sucata mista, que permite uma análise mais simplificada e os dados foram mais acessíveis.

4.2. Sucata mista e seu processamento

O estudo iniciou-se a partir das primeiras análises da sucata tipo mista da usina, devido ao seu fluxo de processamento mais simplificado, como pode-se observar na Figura 2. Vale ressaltar que o controle do rendimento da sucata não era realizado anteriormente devido à falta de metas e planejamentos.

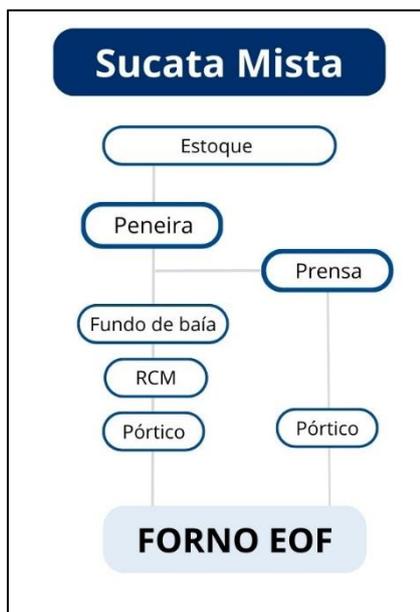


Figura 2- Fluxograma sucata mista. Fonte: Elaboração Própria (2023)

Sendo assim, o fluxo da sucata mista se inicia com a chegada na usina, onde é feito a pesagem inicial via balança rodoviária. Após, é descarregada na paliçada como mostra a Figura 3, com dimensões variadas e densidade entre 200 e 400 Kg/m³, não sendo possível consumir o material de imediato devido não ter um padrão, ocasionando agarramento no forno e atraso na produção do aço. Em seguida é realizado o peneiramento do material para retirar o máximo de finos (areia/terra).



Figura 3 - Sucata mista ao chegar na usina. Fonte: Elaboração Própria (2023)

Posteriormente, o material que foi peneirado é dividido em dois estoques: os finos que viram fundo de baía e a sucata para pensar. Os finos retirados do peneiramento são estocados e aguardam para serem processados pela planta de beneficiamento (RCM), conforme a Figura 4. No local é feito mais uma vez o peneiramento através de uma peneira magnética realizando a divisão do material, as sucatas metálicas retiradas desse processo são enviadas para o pórtico do pátio de sucatas.



Figura 4 - Fundo de baía. Fonte: Elaboração Própria (2023)

Com o propósito de homogeneizar o tamanho e densidade do estoque de sucata após ser prensada, padroniza-se em um tamanho de 80x80x80 centímetros, com 200Kg e densidade de 390Kg/m³, de acordo com a Figura 5. No forno EOF é utilizada a uma taxa correspondente de 25%.



Figuran5 - Sucata mista após pensamento. Fonte: Elaboração Própria (2023)

Há fatores que devem ser considerados nas pesagens, como o desvio da balança rodoviária, cuja capacidade máxima é de 100 toneladas, com um desvio padrão de aproximadamente 20 kg. Para garantir a precisão dos dados, é essencial realizar manutenções periódicas nessa balança, a fim de minimizar o impacto do desvio nas pesagens.

A impureza é o segundo fator que pode interferir na pesagem da sucata, quando a sucata é descarregada na paliçada o operador do pátio aponta visualmente uma quantidade de sujeira que está presente, fazendo com que a pesagem inicial tenha alteração, pois parte dessas impurezas não são retiradas no processo de peneiramento. Quando o material é processado há perda de processo, como foi visto pelo fluxograma a sucata mista passa pelo peneiramento que faz a limpa do material, criando o fundo de baía e interferindo no valor total.

Após todo o fluxograma da sucata mista, na Tabela 1 foram destacadas as pesagens iniciais na usina e as pesagens finais após todos os processamentos. A fim de se obter o principal objetivo do estudo, que é o rendimento da sucata, foi realizado a análise de três cargas distintas. Utilizando a fórmula:

$$r = \left(\frac{pf}{pi} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

r = rendimento

pf = peso final

pi = peso inicial

Tabela 1: Resultados em toneladas das três pesagens da sucata mista

Amostra	Peso inicial (t)	Peso final (t)	Diferença (t)	Rendimento (%)
1	3640	3480	160	95,60
2	6200	5820	380	93,87
3	4400	4180	220	95,00

Fonte: Elaboração Própria (2023)

Sendo 94,83% a média do rendimento da sucata mista, é preciso saber se é satisfatório através do desdobramento de valores a fim de realizar uma análise de custos sobre o resultado, com isso temos:

$$Q_s = \frac{C_s}{r} \quad (2)$$

Onde:

Q_s = quantidade de sucata necessária

C_s = carga de sucata no alto forno

r = rendimento na prensa

Dessa forma é possível calcular o impacto financeiro do rendimento na prensa. Considerando que a carga do forno EOF é de 3 toneladas de sucata, utilizando a equação 1 temos que para um rendimento médio de 94,83% a quantidade de sucata requerida seria 3,163 toneladas de sucata.

De posse do valor da quantidade de sucata efetivamente consumida para a carga do forno EOF, podemos estimar o desperdício financeiro mensal a partir do desperdício de material:

$$df = (Q_s - C_s) \cdot c \cdot f \cdot d \quad (3)$$

Onde:

df = desperdício financeiro mensal

Q_s = quantidade de sucata necessária

C_s = carga de sucata no alto forno

c = custo de aquisição da sucata

f = quantidade de corridas no forno por dia

d = dias trabalhados no mês

Assim considerando a média de 33 corridas por dia, o custo médio da sucata de R\$ 1192,00 e 30 dias trabalhados por mês, de acordo com a equação 2 temos um desperdício financeiro mensal de R\$ 193.061,09.

4.3. Aplicação da metodologia 5w2h

Foram identificadas três situações, conforme apresentado no Quadro 1, para aplicar a metodologia 5W2H. Essa abordagem permite dividir o processo em diferentes partes, evidenciando as ações realizadas em cada situação, com um plano de ação claro e datas limite para o cumprimento das metas.

O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Quanto?
Acompanhar o rendimento	Para identificar melhorias nas sucatas externas	Pátio de sucata	Classificador e estagiária	Até 30/06	Realizando as pesagens de entrada através da balança rodoviária e pesagens após processamento do material, com controle e armazenamento de dados e fotos do processo para garantir o registro adequado e acompanhar as etapas	Hora de trabalho
Analisar as perdas e custo	Para saber qual a perda do processamento e seu custo	Pátio de sucata	Estagiária e Analista	30/jun	Através das duas pesagens, é feito o cálculo a fim de obter a perda do processamento e a interferência com o custo.	Hora de trabalho
Implementar a gestão de indicadores e determinar melhorias	Através da gestão de indicadores determinar as melhorias para o processo	Pátio de sucata	Estagiária, analista, classificador e gestor	15/jul	Implementar a prática de medir o rendimento de cada tipo de sucata. Criar indicadores e realizar reunião para tratar possíveis melhorias no processo.	Hora de trabalho

Quadro 1 – Aplicações da metodologia 5W2H. Fonte: Elaboração Própria (2023)

A aplicação do 5W2H permite criar planos de ação para evitar perdas na rotina do pátio de sucatas, através deste estudo de rendimento. Além disso, é possível realizar análises de outras sucatas e desenvolver indicadores para uma gestão mais eficiente.

5. Considerações finais

A reciclagem da sucata no processo industrial é uma forma responsável e econômica de obter matéria-prima, alinhada com as tendências do mercado mundial. Essa prática contribui para o fortalecimento econômico do país, sendo uma fonte valiosa e de baixo custo.

O artigo concentrou-se nas análises realizadas sobre a sucata mista, o que leva à conclusão de que esse material é amplamente utilizado pelas empresas devido à sua vantagem distintiva em termos de processamento, que é mais simplificado e eficiente em comparação com outras sucatas.

A deficiência do rendimento em 5,17% se deu principalmente pela perda do processamento e impurezas do material. O desvio da balança rodoviária contribui minimamente para o rendimento final, pois sua variação é pequena e a sua calibração é constante.

Devido à falta de estudos anteriores na empresa e à ausência de histórico de métricas relacionadas ao processamento da sucata mista, torna-se inviável a consideração do resultado como satisfatório ou deficiente. Embora haja essa incerteza, se faz necessário a criação de um plano de ação com intuito de padronizar a prática e desenvolver indicadores de produtividade e desperdício do material. Pois com isso, permitirá a organização controlar e analisar a utilização da sucata mista, a fim de aprimorar o processo, reduzir custos e aumentar a competitividade da empresa no mercado.

6. Referências bibliográficas

ALVES, Pedro Cunha. **Métodos de caracterização química e possibilidade de aproveitamento do pó de aciaria elétrica**. 2013.

ALVES, Pedro Cunha. **Análise do rendimento metálico do FEA devido ao uso do sistema de despoeiramento do shredder**. Escola de Engenharia ministério da educação universidade federal do Rio Grande do Sul, 2016.

ARAÚJO, Igor Saraiva de. **Produção brasileira de aço e a competitividade do Brasil no período de 2016 A 2018**. 2021.

BASSAN, Edilberto José. **Gestão da qualidade: ferramentas, técnicas e métodos**. 1ª ed. Curitiba, 2018. 32 p.

BEZERRA, Beatriz Duarte Et Al. **A Aplicação De Ferramentas Da Qualidade Na Área De Estoque**. In: GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NO AGRONEGÓCIO, nº1, 2021, Mogi Das Cruzes/Sp. XII FATECLOG, 2021.

BARBOSA JUNIOR, Sidney Carlos. **Estudo do efeito da utilização de sucata de baixo teor de ferro na produção de aço em fornos elétricos a Arco**. 2019.

BUZIN, Pedro Jorge Walburga keglevich, de HECK, Nestor Cezar, VILELA, Antônio Cezar Faria. **Influência da classificação e beneficiamento da sucata no teor de cloro do pó de aciaria elétrica**. 2017.

CALDAS, José Augusto De Castro. **Análise de duas rotas tecnológicas na siderurgia brasileira com foco na eficiência energética.** 2011.

CAVALCANTE, Esley Silva et al. **Determinação de parâmetros de transferência de calor para o modelo transiente do ciclo das panelas de uma aciaria.** 2019.

CAMPOS, Amanda Layla Pinheiro. **Utilização de ferramentas da qualidade para proposição de melhorias no processo de uma aciaria de grande porte com vistas à redução de ocorrências de clogging.** 2016.

DOS SANTOS, Lucas Almeida; MARZALL, Luciana Fighera; GODOY, Leoni Pentiado. **Aproveitamento de sucata no ramo metal-mecânico frente à sustentabilidade ambiental. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** 2015. 830-847 p.

FONTANILLAS, Carlos Navarro; CORRÊA, Raquel Ramos; CRUZ, Eduardo Picanço. **Otimização do estoque com o uso da classificação abc/pareto.** Simpósio de Excelência da Gestão e Tecnológica. 2015. 13 p.

GARAJAU, Fabrício Silveira. **Estudo de caso: desgaste nos bocais supersônicos do bico de lança da aciaria BOF.** 2017.

LAIDENS, Bruno Wartchow. **Caracterização de massas refratárias utilizadas em reparos de panelas de aciaria elétrica.** 2016.

LOPES, Vitor Dantas. **Melhoria da qualidade da sucata utilizada em forno elétrico a arco através da combinação de duas rotas de processamento.** 2022.

IAB - INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2018.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em <https://acobrasil.org.br/relatoriodesustentabilidade/index.html>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

MOUTINHO, Johny Luciano. **Aspectos técnicos e ambientais do uso da carga metálica em aciaria elétrica.** 2023.

METALURGISTA INDUSTRIAL, **O processo de sopro submerso e o forno EOF – Parte I – O conversor OBM,** 2020.

VIEIRA, Deisi. **Análise comparativa da composição química de aço e escória e rendimento metálico de um FEA entre parâmetros de carregamento e injeções distintos.** 2017.

WURZNER, Lucas Jean. **Estudo de caso para planta de reciclagem de sucata.** 2022.