



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**Universidade Federal de Ouro Preto**  
**Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas**  
**Colegiado do curso de Engenharia de Produção**



**LOGÍSTICA REVERSA: ANÁLISE ACERCA DO REAPROVEITAMENTO  
DE SUCATA METÁLICA E COPRODUTOS NA PRODUÇÃO DE AÇO**

**HENRIQUE RENÓ VALLE POLETTI**  
**MARINA SOUZA DE OLIVEIRA**

**João Monlevade-MG**  
**Setembro/2024**

**HENRIQUE RENÓ VALLE POLETTI**

**MARINA SOUZA DE OLIVEIRA**

**LOGÍSTICA REVERSA: ANÁLISE ACERCA DO REAPROVEITAMENTO  
DE SUCATA METÁLICA E COPRODUTOS NA PRODUÇÃO DE AÇO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Rita de Cássia Oliveira.

**João Monlevade-MG**

**Setembro/2024**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P765l Poletti, Henrique Reno Valle.  
Logística reversa [manuscrito]: análise acerca do reaproveitamento de sucata metálica e coprodutos na produção de aço. / Henrique Reno Valle Poletti. Marina Souza de Oliveira. - 2024.  
45 f.: il.: color.. + Questionário.

Orientadora: Profa. Dra. Rita de Cássia Oliveira.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Aço - Indústria - Economia. 2. Logística reversa. 3. Metais - Reaproveitamento. 4. Produtos reciclados. 5. Sustentabilidade. 6. Usinas siderúrgicas. I. Oliveira, Marina Souza de. II. Oliveira, Rita de Cássia. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Henrique Renô Valle Poletti

Marina Souza de Oliveira

Logística Reversa: Análise acerca do reaproveitamento de sucata metálica e coprodutos na produção de aço.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 25 de Setembro de 2024.

### Membros da banca

Dra - Rita de Cássia Oliveira - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dra - Cinthia Versiani Scott Varella (Universidade Federal de Ouro Preto)

Dra - Eva Bessa Soares (Universidade Federal de Ouro Preto)

Rita de Cássia Oliveira, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Oliveira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/10/2024, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0788494** e o código CRC **2675D8E3**.

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho às nossas famílias que sempre acreditaram em nosso potencial, nos apoiando em cada passo dessa jornada. Sem o amor e o incentivo de vocês, nada disso seria possível. Também o dedicamos um ao outro por todo o empenho e comprometimento, pois, esta conquista foi o resultado de um trabalho árduo, mas feito com dedicação e respeito mútuo; compartilhar esse desafio foi uma experiência de crescimento e aprendizado que levaremos para a vida toda.

## AGRADECIMENTOS

Deixamos nossos mais sinceros agradecimentos:

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente, para a realização deste estudo;

Aos nossos familiares pelo carinho, apoio e paciência, nos momentos mais desafiadores. Vocês foram o porto seguro que nos inspirou a continuar;

À Profa. Dra. Rita de Cássia Oliveira, nossa orientadora, por quem temos imenso respeito por ter nos guiado com dedicação e partilhado conosco seus conhecimentos;

À Universidade Federal de Ouro Preto, por nos apresentar um universo completamente novo, que nos fez crescer e desenvolver nossas habilidades acadêmicas, além de nos proporcionar uma educação de altíssima qualidade e muitas oportunidades;

À equipe da empresa estudada nesta pesquisa por nos receber carinhosamente e por colaborar com nossa pesquisa, despendendo tempo e conhecimento;

A Deus, acima de todas as coisas.

## EPÍGRAFE

*“Quem teme ser vencido tem a certeza da derrota”.*

Napoleón Bonaparte

## RESUMO

O estudo apresentado analisa o reaproveitamento de sucata metálica e coprodutos na produção de aço a partir da logística reversa, tendo como enfoque central em uma indústria siderúrgica multinacional em João Monlevade-MG. Considerando que a prática siderúrgica impacta diretamente o meio ambiente, a aplicação da logística reversa é essencial neste campo. A pesquisa investiga o processo produtivo da siderúrgica estudada, com enfoque na geração de resíduos que são transformados em coprodutos e inseridos novamente no processo. Se justifica diante da crescente necessidade de se adotarem práticas que minimizem os impactos ambientais, considerando a produção significativa de resíduos pelas indústrias siderúrgicas. O objetivo do estudo é analisar se o reaproveitamento de coprodutos e sucata metálica na produção de aço se caracteriza como logística reversa pós-consumo na empresa estudada. A pesquisa é descritivo-exploratória, com alguns aspectos explicativos, sua natureza é qualitativa e pode ser classificada como estudo de caso. Coletaram-se dados por meio de pesquisa bibliográfica, visitas *in loco* e questionário aplicado aos especialistas na empresa estudada. Os principais resultados indicam que a empresa estudada reutiliza uma quantidade considerável de coprodutos e sucata metálica na produção do aço, chegando à conclusão de que o reaproveitamento da sucata pode ser considerado logística reversa pós-consumo, mas o reuso dos coprodutos gerados se caracteriza como reciclagem. O estudo está de acordo com a literatura pertinente à área de engenharia de produção e oferece uma visão abrangente das interconexões entre produção de aço, logística reversa e reciclagem, delineando caminhos para um desenvolvimento industrial siderúrgico mais sustentável no Brasil.

**Palavras-chave:** Logística reversa; sustentabilidade; indústria siderúrgica; reciclagem; economia circular.

## ABSTRACT

The study presented here analyzes the reuse of metal scrap and co-products in steel production using reverse logistics, focusing on a multinational steel industry in João Monlevade, Minas Gerais. Considering that steel industry practices directly impact the environment, the application of reverse logistics is essential in this field. The research investigates the production process of the steel industry studied, focusing on the generation of waste that is transformed into co-products and reintroduced into the process. It is justified by the growing need to adopt practices that minimize environmental impacts, considering the significant production of waste by steel industries. The objective of the study is to analyze whether the reuse of co-products and metal scrap in steel production is characterized as post-consumer reverse logistics in the company studied. The research is descriptive-exploratory, with some explanatory aspects, its nature is qualitative and can be classified as a case study. Data were collected through bibliographic research, *in loco* visits and a questionnaire applied to specialists in the company studied. The main results indicate that the company studied reuses a considerable amount of co-products and metal scrap in steel production, concluding that the reuse of scrap can be considered post-consumer reverse logistics, but the reuse of the generated co-products is characterized as recycling. The study is in line with the literature relevant to the area of production engineering and offers a comprehensive view of the interconnections between steel production, reverse logistics and recycling, outlining paths for a more sustainable steel industry development in Brazil.

**Keywords:** Reverse logistics; sustainability; steel industry; recycling; circular economy.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Processo de Produção de Sínter.....	27
<b>Figura 2</b> - Esquema de geração de escória na aciaria em estudo .....	29
<b>Figura 3</b> - Planta de beneficiamento de escória .....	30
<b>Figura 4</b> - Esquema de geração de pó de despoeiramento da aciaria.....	30
<b>Figura 5</b> - Esquema de geração de pó de despoeiramento do carro torpedo.....	31
<b>Figura 6</b> - Esquema de processamento dos pós e outras MPR criando o Undersize.....	32
<b>Figura 7</b> - Planta MPR .....	32
<b>Figura 8</b> - Pátio de Sucata Metálica Central da Empresa.....	33
<b>Figura 9</b> - Equipamento eletromagnético em atuação no pátio de sucatas em João Monlevade.....	34

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES**

**ABEPRO** - Associação Brasileira de Engenharia de Produção

**A.C** – Antes de Cristo

**CSN** - Companhia Siderúrgica Nacional

**ENEGEP** - Encontro Nacional de Engenharia de Produção

**FEAM** - Fundação Municipal do Meio Ambiente

**FIEMA** - Federação das Indústrias do Estado do Maranhão

**FIEMG** – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais.

**GEE** – Gases Efeito Estufa

**IAB** – Instituto Aço Brasil

**IBAMA** – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

**IBRAM** – Instituto Brasileiro de Mineração

**ICEA** – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas

**LR** – Logística Reversa

**MG** – Minas Gerais

**MPR** - Matéria-Prima Reciclada

**PIB** – Produto Interno Bruto

**PNRS** - Política Nacional de Resíduos Sólidos

**SINIR** - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	Justificativa .....	16
1.2	Objetivos .....	17
1.2.1	Objetivo Geral .....	17
1.2.2	Objetivos específicos .....	17
1.3	Estrutura do documento apresentado .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
2.1	A indústria siderúrgica .....	18
2.1.1	Reciclagem na Indústria Siderúrgica .....	19
2.1.2	Sustentabilidade nas empresas siderúrgicas .....	20
2.2	Logística e Logística Reversa .....	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA.....</b>	<b>24</b>
3.1	Classificação quanto ao objetivo da pesquisa.....	24
3.2	Classificação quanto à natureza da pesquisa.....	24
3.3	Classificação quanto à escolha do objeto de estudo .....	25
3.4	Classificação quanto à técnica de coleta de dados.....	25
3.5	Classificação quanto à técnica de análise dos dados coletados .....	26
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
4.1	A Produção de Aço: Etapas e Processos .....	27
4.2	Processamento de Coprodutos .....	28
4.3	Escória de Aciaria.....	28
4.4	Pó de despoeiramento da aciaria e Pó de Carro Torpedo .....	30
4.5	Coleta e Processamento de Sucata Metálica .....	32
4.6	Análises e Discussões.....	34
4.6.1	Levantamento de dados do questionário.....	35
4.6.2	Discussões.....	36
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE - PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Práticas metalúrgicas existem desde a Pré-História e os arqueólogos vêm registrando sua presença no que é conhecido como Idade dos Metais, que por sua vez é dividida em Idade do Bronze e Idade do Ferro. A literatura define como início da Idade dos Metais o período no qual se observa a diminuição de artefatos em pedra, mas ainda há autores que afirmam que essa gênese se dá quando se percebe marcas em ossos produzidas por metais. Essa era pode não ser, todavia, o início da metalurgia pois há divergências na literatura e que surgem porque, antes da Idade do Bronze, evidenciou-se a do Cobre, por muitos pesquisadores considerada como à do Bronze. Diante das divergências arqueológicas/acadêmicas, a Idade do Bronze teve seu início deslocado de 4.5000/4.000 A.C. para 3.300/3.150 A.C e seu fim de 2.100/1.900 a 1.200 A.C. Afirma-se então, que a Idade do Ferro se iniciou ao final da Era do Bronze e prosseguiu até a dominação dos romanos (.200 a 586 A.C.) (NAVARRO, 2006).

Resumindo a linha cronológica que evidencia a gênese da metalurgia, argumenta-se que as Eras dos Metais começam com as técnicas de obtenção do bronze que exige ferramentas complexas para extração e manipulação. O ferro existia com mais volume no solo e não precisava de técnicas elaboradas para extração e manipulação. A partir do cenário acima apresentado, registra-se que a metalurgia e conseqüentemente a siderurgia, tiveram sua origem a partir da necessidade de que os homens pré-históricos tinham de construir artefatos úteis para sua sobrevivência e que fossem mais seguros do que a pedra e a argila (NAVARRO, 2006).

A metalurgia estuda e aplica técnicas vinculadas à extração, transformação e uso de materiais metálicos. Os metais são advindos dos minérios encontrados tanto no solo quanto das rochas. A siderurgia, por sua vez, se dedica à fabricação e tratamento dos aços e ferros fundidos (SILVA, 2011). Em consonância com Silva (2011), a Federação das Indústrias do Estado do Maranhão – FIEMA - regista que a metalurgia engloba processos variados que vão da extração do minério ao tratamento de ligas metálicas, com aplicação em praticamente todos os setores das atividades humanas visto que, de forma direta ou indireta, se faz presente nas indústrias automotivas, de construção naval, de equipamentos agrícolas, no campo da construção civil, entre outras. Para a federação citada, a siderurgia é parte importante da metalurgia e se dedica à fabricação e tratamentos de aços fundidos. (FIEMA, 2021). Como se nota, ambas produzem metal, mas a diferença é o tipo de metal gerado. Enquanto a metalurgia produz diversos tipos metálicos, a siderurgia trabalha exclusivamente com ferro e aço.

No Brasil, a indústria siderúrgica começou a se desenvolver a partir da Segunda Guerra Mundial, quando o presidente Getúlio Vargas, investiu na criação de empresas nesse ramo, entre elas a Companhia Siderúrgica Nacional - CSN. Atualmente, o país se encontra como um dos

maiores produtores de aço no mundo. O estado de Minas Gerais concentra as maiores empresas de mineração e siderurgia do país, entre elas a Vale, o grupo Gerdau, a ArcelorMittal, a Usiminas, além da própria CSN. De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (BRASIL, 2022), a mineração é uma das principais atividades econômicas do estado e, devido a isso, responsável pela geração de emprego e renda em diversos municípios mineiros. Ela representa 4% do PIB Nacional – Produto Interno Bruto e é considerada pelos mineiros como a 2ª principal atividade do estado de Minas Gerais (FIEMG, 2023).

Embora seja evidente sua importância no cenário econômico do país, autores apontam como as empresas metalúrgicas e siderúrgicas afetam o meio ambiente. Conforme expõe Viana (2023), a produção de aço impacta diretamente o meio ambiente, havendo a necessidade de redução das consequências negativas das atividades siderúrgicas. Nunes (2022), em consonância com Viana (2023), evidencia que os resíduos sólidos e líquidos são um dos aspectos mais nocivos das empresas metalúrgicas e que afetam os biomas diversos e, da mesma forma, a saúde e o bem-estar das pessoas. O processo de produção do aço gera uma diversidade desses resíduos e para amenizar essa condição, o autor propõe a criação de sistemas de gestão ambiental que tratem a poluição do ar, a alteração da qualidade da água e do solo, a redução dos ruídos gerados e dos recursos naturais. Cardoso (2024) salienta que a indústria siderúrgica também registra os mesmos problemas ambientais sérios, principalmente porque emite gases que poluem a atmosfera. De fato, a redução do minério nos altos fornos é bastante poluente e demanda a queima de grande volume de carvão e de outros elementos combustíveis. Um dos impactos ambientais advindos da produção de ferro gusa é a geração dos resíduos acima citados. Os sólidos incluem escórias e cinzas produzidas pelo processo de redução do minério de ferro e, nos segundos, se encontram as águas residuais tóxicas geradas. É a partir da análise da importância desse setor na economia e de suas consequências ambientais que ganha evidência a questão do desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável é um dos principais desafios da indústria siderúrgica, pois garante o suprimento das necessidades da geração atual e não o compromete para as gerações futuras. Compreende-se, então, que o avanço da tecnologia, além do progresso econômico, deve também desempenhar um papel fundamental quando na resolução dos riscos e danos associados ao referido crescimento, de forma a salvaguardar a sustentabilidade das relações sociais e do meio ambiente (BARBOSA, SILVA, TEIXEIRA, 2022). Os autores citados expõem a importância da produção do aço verde, expressão usada para se referir ao aço que é fabricado com o recurso da tecnologia inovadora, reutilizando sucatas e aço convencional para atenuar os problemas ambientais advindos dos processos de fabricação.

Segundo Cruz, Timóteo e Correia (2021), as escórias, também conhecidas como coprodutos, são resíduos do processo de fabricação do aço e representam aproximadamente 60% de toda a

geração. São classificadas como de retorno interno, de uso industrial e de obsolescência. A escória de retorno interno é gerada pela própria siderúrgica, proveniente da recuperação da escória e de perdas de aço líquido; a de uso industrial advém da transformação do aço em produto acabado e, por fim, a de obsolescência é conhecida como ferro velho. A utilização das escórias é bastante vantajosa nos processos de produção de ferro e aço uma vez que preserva recursos naturais e reduz gases poluentes. Portanto, afirmam a importância do reuso das escórias de aciaria pelas próprias siderúrgicas, visando a aplicação da logística reversa na indústria.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída pela lei nº 12.305, datada de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010) define a logística reversa como um "instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada." Segundo Garcia e Bertaci (2020), as empresas que adotam a LR a veem como vantagem estratégica advinda de planejamento organizacional uma vez que, sendo compreendida, passa a agregar mais valor aos produtos e aos negócios, as tornando mais competitivas no mercado. Compensa salientar que, devido ao aumento da diversificação nos modelos dos produtos, seus ciclos de vida se encurtaram desde as últimas décadas do século XX. Esse fenômeno impulsionou a demanda pela LR por meio da reutilização dos produtos e da gestão de resíduos.

Dessa forma, a LR torna-se, cada vez mais, uma área de crescente interesse nas empresas e nas sociedades organizacionais, se destacando como a quarta esfera da logística empresarial<sup>1</sup>. O seu estudo bem como de seus canais de distribuição se percebem cada vez mais importantes para os cenários empresariais diante das políticas que visam a preservação do meio ambiente sem se renunciar à sustentabilidade empresarial, dando-se ênfase para aspectos importantes de competitividade, identificados como retornos de pós-venda e de pós-consumo (LEITE, 2009). O autor referenciado registra que os canais de distribuição consistem no meio e forma pelos quais os produtos para o cliente final são disponibilizados. Os canais de distribuição reversos proporcionam o retorno dos produtos ao final do ciclo de produção para agregação de valores através da reciclagem e reutilização ou da contribuição com o valor considerado como social, já que permite que se trabalhe com sustentabilidade.

Além das vantagens acima discriminadas, há outras motivações que impulsionam o crescente interesse das empresas pela implementação da logística reversa em seus fluxos de produção. Entre elas, existem as motivações jurídicas e econômicas, também as ecológicas, que promovem uma imagem positiva e responsável das empresas que a empregam. Nesse contexto, as

---

<sup>1</sup> As outras são a de produção, distribuição e de suprimentos.

questões que direcionam esse estudo serão as seguintes: Qual é o volume de materiais reciclados pela empresa estudada? Quais são os materiais reutilizados na fabricação do aço? Como pode ser caracterizado o processo de reutilização dos coprodutos e das sucatas metálicas na fabricação de aço?

## 1.1 Justificativa

O tema do estudo apresentando se justifica no contexto da Engenharia de Produção setor em que a aplicação da logística reversa assume particular relevância, dada a magnitude dos desafios ambientais associados às indústrias tais como as metalúrgicas e siderúrgicas. Conforme as subáreas de estudo discriminadas na plataforma do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP – versão 2023, a logística reversa, no âmbito da Engenharia de Produção, está categorizada na área da Cadeia de Suprimento conforme classificação da Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. Sua contribuição acadêmica é evidente uma vez que integra eficientemente a cadeia de suprimentos enquanto, socialmente, promove a sustentabilidade.

A contribuição da logística reversa para a academia é notável, uma vez que promove pesquisa e desenvolvimento de métodos novos que visam a integração eficiente de práticas reversas na Cadeia de Suprimentos. Já na sociedade, a logística reversa assume o papel de promotora de sustentabilidade, contribuindo para a redução de resíduos, minimizando os impactos ambientais e a conscientização sobre a relevância da responsabilidade socioambiental na gestão empresarial.

Os resíduos provenientes das operações fabris, decorrentes do progresso humano, experimentaram um crescimento exponencial em virtude da globalização, fenômeno agravado pelo aumento da população mundial ao longo dos últimos séculos. Com o "boom" populacional, observou-se não apenas uma demanda proporcionalmente crescente por recursos, produtos e serviços, mas também uma tendência que assumiu proporções estratosféricas, impulsionada pela imperativa necessidade de consumo incessante. As empresas por sua vez precisam produzir cada vez mais para atender ao seu público, lucrar e gerar riqueza em seu entorno, portanto o volume de resíduos gerados devido aos processos de produção também sofreu grande aumento. Nas empresas siderúrgicas, em particular, a maior parte desses resíduos é gerada nos processos de produção do aço, resultando na produção de rejeitos e resíduos sólidos. As destinações desses elementos são regulamentadas pela PNRS, que estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos.

De acordo com a PNRS, estão sujeitas a essa lei “as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos”

(BRASIL, 2010). Assim, a necessidade de conduzir tal estudo abarca as regulamentações pertinentes, quer sejam de ordem ambiental, acadêmico ou social, visando o entendimento da destinação dos resíduos<sup>2</sup> gerados nos processos siderúrgicos.

## **1.2 Objetivos**

Apresentam-se, a seguir, o objetivo geral e os específicos que delineiam o presente estudo.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Analisar se o reaproveitamento de coprodutos e sucata metálica na produção de aço em uma indústria siderúrgica no interior de Minas Gerais se caracteriza como logística reversa de pós-consumo.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Mapear o processo produtivo do aço e seus coprodutos gerados;
- Entender quais coprodutos são reaproveitados na produção do aço;
- Mapear as etapas de transformação de coprodutos e sucata metálica em gusa líquido;

## **1.3 Estrutura do documento apresentado**

Apresenta-se a seguir a estrutura do trabalho: O Capítulo 2 trará a revisão da literatura, o Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada para condução do estudo, o Capítulo 4 será dedicado à exposição dos resultados e suas análises. Por fim, o Capítulo 5 contém as considerações finais, seguido das referências bibliográficas e apêndices que complementam a pesquisa realizada.

---

<sup>2</sup> Na empresa estudada os resíduos são tratados com a nomenclatura de coprodutos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Apresenta-se a seguir revisão da literatura referente ao estudo na qual se trabalhará com os conceitos de indústria siderúrgica, reciclagem na indústria siderúrgica, sustentabilidade nas empresas siderúrgicas, bem como os de logística e logística reversa.

### 2.1 A indústria siderúrgica

Brasil (2022) registra que a siderurgia é um ramo específico da metalurgia e que os produtos gerados nas duas são tipos de metais diferentes entre si. A metalurgia, área mais ampla, produz diversos tipos de metais e a siderurgia trabalha com a produção de ferro e de aço. No processo siderúrgico, fabrica-se o aço a partir do minério de ferro, do carvão e da cal, essa produção é dividida fundamentalmente em quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação.

O aço é um material duro, resistente à corrosão, às temperaturas elevadas e ao desgaste, durável, capaz de absorver impactos e com vasta aplicabilidade. Além dessas características, duas outras também se destacam, sendo elas, possuir múltiplas aplicabilidades e é capaz de ser reciclável. O desempenho das empresas siderúrgicas afeta atividades econômicas e de investimento em um país, mas se evidencia também por promover danos ambientais pela extração dos recursos naturais e pela poluição promovida pelos processos de produção e que inclui a produção de resíduos líquidos e sólidos (BRASIL, 2022). Ainda de acordo com Brasil (2022), os produtos siderúrgicos são intermediários e utilizados principalmente pelas indústrias de bens de capital, automotiva e de construção civil. Em mercado altamente competitivo, é preciso planejamento rigoroso no processo de produção de aço objetivando máxima utilização das usinas, redução de custos e manutenção de qualidade.

Quanto à indústria siderúrgica brasileira, Brasil (2022) evidencia que o país foi responsável pela produção de 31,4 milhões de toneladas de aço bruto em 2020, passando a ocupar a 9ª posição no ranking da produção mundial. A produção é dividida em 15 empresas privadas controladas por 12 grupos empresariais, possuindo 31 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros. O Brasil apresenta algumas vantagens se comparado a outros países produtores de aço, pois o minério de ferro brasileiro é altamente competitivo no mercado internacional, devido ao seu alto teor de ferro e custo reduzido. A logística de transporte é privilegiada, já que as principais siderúrgicas estão localizadas próximas aos portos de embarque e das minas de minério de ferro, havendo interligação por ferrovias especializadas em transporte de minério e aço.

Viana (2023) registra que a indústria siderúrgica é de essencial importância visto que fornece insumos para diversos setores da indústria de transformação e para a construção civil. É formada

por grandes empresas, a maioria verticalizadas, operando nas variadas fases dos processos produtivos que vão da transformação do minério de ferro primário (gusa) até a produção de bobinas a quente, a frio ou galvanizadas que serão utilizadas na indústria automotiva, bens de capital, naval, linha branca e no setor imobiliário. Por seu perfil, investimentos elevados são precisos, segundo o autor.

No Brasil, as usinas siderúrgicas integradas respondem por cerca de 70% da produção de ferro-gusa, para consumo próprio, enquanto os 30% restantes são produzidos pelos chamados guseiros, que exportam cerca de 60% da produção e destinam os 40% restantes para usinas semi-integradas (mini mills) do mercado interno (VIANA, 2023, p.2).

Atendendo o mercado nacional e internacional, o setor metalúrgico brasileiro necessita cada vez mais de insumos que vão desde o minério de ferro a equipamentos específicos, muitos deles compostos de produtos siderúrgicos. Diante de sua importância para o cenário econômico nacional, emerge a questão da sustentabilidade em meio a debates profundos no campo do desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Por ser indústria que contribui para a poluição do ar, contaminação do solo e da água, consumo intenso de recursos naturais, a siderurgia está no centro de discussões sobre mudanças no clima e sustentabilidade (SANT'ANNA, 2024). O autor apresenta no seu estudo a preocupação das empresas com a questão da sustentabilidade e cita, por exemplo, a estratégia do uso de sucata como matéria-prima para produção de aço em fornos elétricos. A reciclagem contribui economicamente para as empresas ao mesmo tempo que reduz o impacto negativo no meio ambiente. É dentro do contexto acima que surgiu e se aplica no setor o conceito de reciclagem de resíduos siderúrgicos, que alguns autores chamam de escória reciclável ou de resíduos ecologicamente aproveitáveis e essa denominação se deve principalmente a uma das características citadas por Brasil (2022) que o aço possui, que é ser infinitamente reciclável.

### 2.1.1 Reciclagem na Indústria Siderúrgica

O termo “reciclagem” passou a ser utilizado nas últimas décadas em vários campos do conhecimento, a maioria das vezes vinculado à ideia de reutilizar os resíduos de forma a amenizar os impactos que eles promovem na natureza e na rotina das pessoas. À medida em que o termo se tornou comum, outro foi gradualmente mudando de significado, o termo “lixo”, que passou a ser substituído por “resíduo”. Brasil (2022, p. 27) alerta que houve um movimento que visava a redução dos resíduos que foi gradualmente substituída pelo seu reuso de forma direta ou indireta. Coube a PNRS definir reciclagem de resíduo como sendo o “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos”. A política também estipula que as organizações

devem ser responsáveis pela destinação final desses resíduos contemplando “a sua reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações”, observando “normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais adversos”. Essa proposta cabe a qualquer forma de resíduo que também inclui o gerado por diversas indústrias. Dentro da análise do conceito de reciclagem e seu universo de abrangência, especifica-se nesse estudo sobre o aproveitamento de resíduos nas indústrias siderúrgicas.

Como já afirmado anteriormente, uma das características do ferro e do aço é a capacidade de serem reciclados. Barbosa, Silva e Teixeira (2022) apontam o “aço verde” como uma das iniciativas para se vencer o desafio que as siderúrgicas têm pela frente, que é manter-se economicamente viável no cenário brasileiro ao mesmo tempo que reduz a poluição que delas advém. A expressão “aço verde”, segundo os autores citados, é aplicada ao aço produzido a partir do uso da inovação tecnológica, que inclui no processo de fabricação o reuso de sucatas para redução do gasto de energia e minimização dos impactos ambientais que as empresas promovem. O retorno e reutilização dos produtos e subprodutos para as indústrias siderúrgicas de origem evidenciam a sua necessidade de se manterem nos padrões da sustentabilidade, outro tema importante nos debates atuais quanto ao comportamento industrial e empresarial, principalmente diante das crises ambientais e climáticas (SANT'ANA, 2024).

### 2.1.2 Sustentabilidade nas empresas siderúrgicas

Como ocorre com a maioria das indústrias, a sustentabilidade na indústria siderúrgica brasileira se tornou tema de debate por duas razões: desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Seu reflexo econômico no Produto Interno Bruto - PIB no Brasil é evidente além de gerarem empregos para a população. Entretanto, não há como não reconhecer seu impacto ambiental principalmente por serem consideradas como uma das maiores emissoras de Gases de Efeito Estufa – GEE. Esse paradoxo coloca a siderurgia brasileira diante de um desafio: equilibrar a produção com eficiência e adotar práticas sustentáveis. Além da poluição atmosféricas, as empresas siderúrgicas contaminam o solo e as águas e consomem recursos naturais em demasia. Convém evidenciar, todavia, que a sustentabilidade nessas empresas vai além das exigências ambientais uma vez que é preciso que se preparem estrategicamente para alta competitividade no setor. É a adoção dessas práticas que resultam na redução dos custos das operações, melhoram a imagem corporativa do setor e dá acesso a novos mercados, como o do aço verde. O mercado de ações é sempre sensível a essas mudanças (SANT'ANA, 2024).

A partir da necessidade de o setor siderúrgico se tornar sustentável, o Instituto Aço Brasil - IAB - (2021) trabalha com o conceito de “economia circular” que é manter os materiais em utilização pelo maior tempo possível, trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais a sociedade. Resumidamente, o processo circular trabalha com quatro ações: reduzir, reutilizar, reciclar e remanufaturar. Reduz-se quando se diminui a quantidade de matérias-primas e de energias que são utilizadas tanto para produzir, quanto para reduzir o impacto gerado pelos produtos no meio ambiente. Segundo o IAB, as usinas autogeraram cerca de 45% do consumo de energia elétrica em 2021. Reutiliza-se material ou bem durável quando seu uso pós-consumo é estendido. Quanto à reciclagem, o aço pode ser reciclado continuamente sem perder a qualidade. O instituto afirma que foram recicladas dez milhões de toneladas de aço em 2021. Por fim, remanufaturar significa transformar produto usado em novo e, assim, reinicia-se um novo ciclo.

Analisando as informações supracitadas, compreende-se a importância da sustentabilidade no processo de produção siderúrgica. Barbosa (2019) registra que o faturamento da indústria siderúrgica no Brasil e no mundo tem crescido exponencialmente, mas, por outro lado, diminui-se a qualidade de recursos, o que coloca a indústria em alerta. Com a demanda crescente, recursos minerais reduzidos e necessidade de sustentabilidade ambiental, novos modelos de negócio e técnicas são necessários visando o futuro. Neste contexto, as empresas siderúrgicas precisam se adequar de forma a enfrentarem os desafios que já são evidentes em seu campo de ação.

## **2.2 Logística e Logística Reversa**

A logística existe desde o início da evolução humana, talvez não conhecida ou nomeada dessa forma, mas podendo ser observada ao analisar nos dias de hoje, obras e monumentos da antiguidade, tais monumentos como as Muralhas da China, Pirâmides do Egito. Descobertas de traços dos povos antigos comprovam que já existia planejamento, transporte e abastecimento nas primeiras civilizações. As guerras históricas apoiam a ideia de que a logística era utilizada para suprir soldados em regiões remotas, bem como fornecer armamentos bélicos para as guerras (HARA, 2009). Atualmente, ela está presente em todos os aspectos empresariais sejam em forma de planejamento e controle de materiais, armazenagem, suprimentos, controle dos fluxos quer sejam de informações, dinheiro, pessoas ou produtos, abrangendo sempre desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender o consumidor final (NOVAES 2007, p. 33-35).

Comumente, a atenção se volta para o gerenciamento do fluxo de materiais desde sua aquisição até seu ponto de consumo. Contudo, é importante ressaltar que, dentro do âmbito logístico, há diversas ramificações, que conforme Leite (2017), podem ser classificadas em três subcategorias: de apoio à manufatura, de distribuição e reversa.

A logística de apoio à manufatura é responsável por planejamento, armazenamento e controle dos fluxos internos; a logística de distribuição, basicamente se ocupa da entrega dos pedidos recebidos; a logística reversa, a mais nova área da logística, é responsável pelo retorno dos produtos de pós-venda, pós-consumo e de suas respectivas destinações corretas (LEITE, 2017, p.30).

A definição do termo logística depende do campo onde ele seja usado. De acordo com Cavalcante *et al* (2019), apesar de haver variados conceitos, a logística pode ser resumida como um processo de gerenciamento de operações visando aumento de lucro no presente e no futuro e sem grandes custos. Normalmente, a logística se vincula ao campo da economia. Os autores afirmam que a logística existe desde o antigo Egito ao longo do rio Nilo (2.000 a 1.800 A. C.), em culturas do milho na China, nas antigas civilizações, inclusive nas pré-colombianas das Américas. Genericamente, o conceito se aplica a qualquer processo em que seja preciso organizar ou movimentar alguma coisa e, devido a isso, se encontra no passado, se mantém no presente e será comum no futuro.

Oliveira e Moura (2022) caracterizam os seguintes tipos de logística: integrada, reversa, industrial, empresarial, de marketing e de transporte. Na integrada, variadas ações e atividades se interligam almejando o equilíbrio entre os custos e os serviços, minimizando os custos totais sem alterar a qualidade do produto para o cliente. Na logística reversa, há um processo fundamentado em reaproveitamento de produtos ou resíduos para produção de outro. Em outras palavras, na logística reversa, a reutilização de produtos descartados é o foco. Na industrial há um aprimoramento para a prestação de serviços aos clientes e que envolve desde o suprimento da empresa até a entrega do produto no varejo. Inclui fabricar, distribuir e manter o produto atendendo as necessidades de todos os envolvidos. A empresarial implica como as empresas se organizam para suprir suas cadeias e para capacitar os operadores e intermediários dependentes do processo. Colocam mercadorias e serviços nos lugares certos, nos momentos devidos, nas condições desejados com menor custo que seja possível. A de marketing interliga os serviços prestados pela empresa com os clientes, levando até eles o produto que desejam. Por fim, a de transporte transporta produtos e bens para quem os adquire principalmente porque estão distantes da empresa ou porque o valor é elevado. Como se percebeu a partir dos dados de Oliveira e Moura (2022), cada tipo de logística pode ser aplicada separadamente ou se vincular as outras dentro de uma mesma empresa visando sempre a manutenção da qualidade e um preço acessível ao cliente final.

Quanto à logística reversa, segundo Leite (2009), ela se subdivide em categorias específicas conhecidas como de Pós-Consumo e de Pós-Venda. Produtos caracterizados como de pós-consumo são coletados após o término completo de sua vida útil, podendo ou não ser reintegrados à fabricação do mesmo item ou de um novo produto. Ainda segundo o autor, os canais de distribuição reversos de pós-consumo se constituem pelo fluxo reverso de uma parcela de produtos e de materiais

constituintes originados no seu descarte, após ter sido finalizada a sua utilidade original, retornando ao ciclo produtivo de alguma maneira. Distinguem-se três subsistemas reversos: os canais reversos de reuso, de remanufatura e de reciclagem (LEITE, 2009). Esta proposta é conhecida como economia circular pelo Instituto Aço Brasil (2021). Dentro desse cenário, destaca-se o registro de Luz e Boostel (2019), que apontam a influência direta do marketing no consumismo. Destacam ainda que a produção de produtos como computadores, celulares e automóveis ocorrem em curtos períodos e representam a descartabilidade dos bens, pois são substituídos sempre que surgem novos modelos. Portanto, diante da crescente velocidade no aumento da produção de bens pós-consumo, torna-se imperativo prover a recuperação ou descarte desses itens de maneira a minimizar o impacto ambiental.

A Logística Pós-Venda, advém de um processo dividido em etapas, onde não há a necessidade de remanufatura. Primeiramente, realiza-se a coleta dos produtos devolvidos, para posteriormente se fazer uma triagem e avaliar as condições do material, que, por fim, é classificado de acordo com suas condições. A classificação da destinação final do material coletado ocorre mediante a deliberação acerca da viabilidade de seu reuso, reciclagem ou a necessidade de descarte apropriado (LEITE, 2009). Os autores (LUZ, BOOSTEL, 2019) destacam que os produtos provenientes da Logística Reversa de Pós Venda, são comercializados somente no mercado secundário, pois este, “trabalha disponibilizando produtos que não se encontram em seu estado original de fabricação, sendo classificados como usados, seminovos ou apresentando defeitos”, sendo o mercado primário voltado para a recepção dos produtos do fluxo direto da logística, ou seja, produtos novos.

Os autores (THEODORO, FORTE, 2023) definem logística reversa como parte da logística que trata da política de retorno dos produtos, embalagens ou outros materiais para o setor produtivo. Assim, por meio dessa destinação e da reciclagem de resíduos, elimina-se parte dos impactos ambientais nocivos. Em resumo, a logística reversa recupera material para reuso ou reciclagem. Os produtos coletados pós-consumo (após o término completo de sua vida útil) podem ou não se reintegrados na fabricação de produto semelhante ou se transformarem em novos. Sem necessidade de remanufatura e dentro do processo de logística reversa, esses produtos são vendidos em mercados secundários onde pessoas os adquirem por preços menores (LUZ, BOOSTEL, 2019). No campo da siderurgia, segundo Piazza e Apolinário (2012), a logística reversa é mais vinculada ao pós-consumo, às vezes na própria empresa.

### **3 METODOLOGIA DE PESQUISA**

De acordo com Oliveira (2011), uma pesquisa pode metodologicamente classificada quanto aos seus objetivos e sua natureza, quanto à escolha de seu objeto de estudo e quanto à técnica de coleta e de análise dos dados. Discrimina-se a seguir as referidas classificações.

#### **3.1 Classificação quanto ao objetivo da pesquisa**

Quanto ao seu objetivo, uma pesquisa pode ser classificada como descritiva, exploratória, explicativa ou apresentar dois ou mais desses aspectos.

Esta pesquisa partiu da concepção de pesquisa de natureza básica que, segundo Appolinário (2011), tem como objetivo principal o avanço do conhecimento científico, uma vez que se aprofunda teoricamente e não na experimentação. Saliencia, então, uma característica exploratória uma vez que aumenta a familiaridade do pesquisador com o fenômeno estudado e trabalha com conceitos que podem ou não ser mais bem esclarecidos ou modificados (MARCONI, LAKATOS, 2017). Também se apresenta como explicativa, a partir da proposta de expor como essa prática se faz, embasando-a nas teorias apresentadas no referencial (OLIVEIRA, 2011). Quanto ao seu objeto de estudo, a pesquisa apresentada é exploratória (MARCONI, LAKATOS, 2017; GIL, 2016) com aspectos descritivos e explicativos.

#### **3.2 Classificação quanto à natureza da pesquisa**

Quanto à sua natureza, o estudo apresentado é qualitativo. Guerra (2014) afirma que uma pesquisa qualitativa busca entender os fenômenos a partir de significados a eles oferecidos. A objetividade é importante nesse tipo de estudo. O autor deve explicar, interpretar as relações presentes no fenômeno e propositalmente escolher seu objeto de estudo.

Oliveira (2011) registra que a pesquisa qualitativa é genérica e trabalha com dados dentro de contextos específicos. As formulações matemático-numéricas normalmente não são consideradas, dando-se mais atenção para os dados exploratórios e explicativos. Ainda, o autor afirma que, na pesquisa qualitativa, o pesquisador precisa ter contato direto com o ambiente a ser investigado, propondo que o estudo de caso é importante nesse caso.

### 3.3 Classificação quanto à escolha do objeto de estudo

A pesquisa pode ser classificada como estudo de caso aplicado em uma empresa siderúrgica do interior de Minas Gerais, cujo objetivo é mapear e analisar o reaproveitamento dos coprodutos gerados na produção do aço e da sucata metálica.

Os resultados obtidos a partir de estudos de caso podem ser aplicados em situações similares uma vez que, embora seja um caso analisado, os resultados podem se replicados por seu aspecto explicativo/descritivo (OLIVEIRA, 2011).

### 3.4 Classificação quanto à técnica de coleta de dados

Os dados para a pesquisa apresentada foram coletados por meio de pesquisa bibliográfica, além de visitas *in loco* e questionário aplicado aos especialistas dos setores-chave da empresa analisada.

Quanto à pesquisa bibliográfica, buscou-se em livros, publicações acadêmicas e em periódicos as informações autorais necessárias. Catálogos da empresa foram analisados para levantamento de informações sobre processamento de coprodutos, sucata metálica, bem como, a busca de imagens. Foi aplicado questionário com quatro especialistas nas áreas envolvidas no processamento dos coprodutos (ver anexo presente nos apêndices) e para complementação, fotografaram-se situações dentro da empresa objeto do estudo.

Como parte da metodologia exploratória, foram agendadas e realizadas três visitas técnicas à empresa em áreas estratégicas para buscar informações sobre o processo de reaproveitamento de sucatas metálicas e coprodutos na produção de aço. A primeira visita ocorreu na planta de Matéria-Prima Reciclada – MPR, onde são armazenados os coprodutos que têm potencial para serem reutilizados na fabricação de aço. Posteriormente, foi feita uma visita ao pátio de sucatas metálicas da unidade, local destinado ao armazenamento e separação das sucatas provenientes da reciclagem interna e da compra de fornecedores externos. No pátio de sucatas metálicas, também se localiza a planta de processamento de escórias, local onde se processa este coproduto. Por fim, a última visita ocorreu no pátio de coprodutos, onde são estocados os coprodutos gerados durante o processo de produção de aço.

Além das visitas *in loco*, foi aplicado um questionário aos especialistas das áreas de alto-forno, sinterização, coprodutos e sucata metálica, relacionadas diretamente no processo de transformação de materiais em matéria prima. A partir de um questionário estruturado (ver apêndice), obteve-se respostas de um engenheiro de aciaria, um coordenador de projetos de alto

forno, um especialista em meio ambiente e um coordenador de coprodutos. As respostas obtidas no questionário serviram para o embasamento do estudo.

### **3.5 Classificação quanto à técnica de análise dos dados coletados**

A análise de coleta dos dados coletados foi inspirada na análise de conteúdo, seguindo as propostas de Bardin (2010). Segundo Bardin (2010), principalmente na pesquisa qualitativa, deve-se oferecer aos dados obtidos um tratamento cujo objetivo é identificar o que se diz sobre o objeto de estudo. É importante que se confrontem as informações existentes, produzindo inferências e interpretando mensagens a partir dos dados sistematizados objetivamente. Na revisão bibliográfica a inspiração na análise de conteúdo é essencial visto haver a necessidade de se verificar a concordância/discordância entre autores, interpretar imagens, analisar variados documentos que possam confirmar ou não as informações obtidas. Embora trabalhe mais com o setor da educação, a teoria de Bardin (2010) pode ser aplicada a qualquer estudo que seja qualitativo, havendo a possibilidade de ser também utilizada naqueles em que o qualitativo e o quantitativo estejam presentes simultaneamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

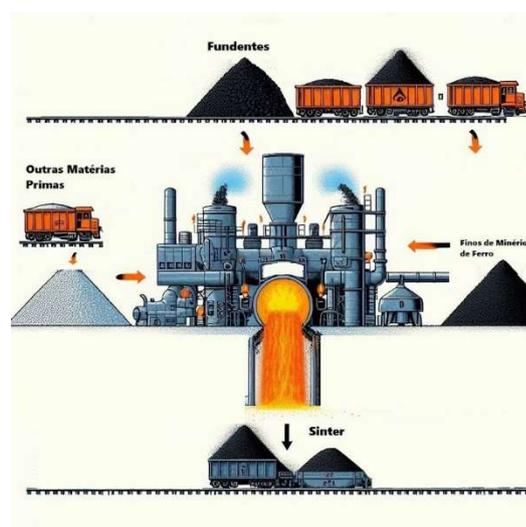
Escolheu-se para estudo uma indústria siderúrgica multinacional em João Monlevade-MG, objetivando-se analisar se o reaproveitamento de coprodutos e sucata metálica no processo de produção do aço se caracteriza como uma prática de logística reversa pós-consumo. Discrimina-se, a seguir, o processo de produção de aço e de reciclagem dos coprodutos na empresa designada.

### 4.1 A Produção de Aço: Etapas e Processos

O processo de produção de aço inicia com o uso dos principais insumos: minério de ferro e carvão. Primeiramente, produz-se o carvão de coque, material utilizado na redução do minério de ferro, transformando-o em ferro metálico. Segundo Souza (2016), o coque é um subproduto do carvão mineral e é obtido através do processo de coqueificação, quando ele é submetido a altas temperaturas e na ausência de oxigênio. Ele é o produto que surge ao final da queima, na forma de um resíduo sólido e poroso. Segundo a autora, o custo gerado com a participação do coque na produção de ferro gusa é de 40,5%, ou seja, é a matéria-prima com maior valor agregado.

Segundo procedimentos da ArcelorMittal Brasil (2021), a fabricação do coque envolve o aquecimento do carvão a temperaturas entre 1100 °C e 1300 °C. Após essa etapa, o coque é transportado por correias por onde passa pelos processos de resfriamento, britagem e peneiramento antes de ser destinado aos altos-fornos, onde se forma o sinter, conforme se pode observar na Figura 1.

**Figura 1** - Processo de Produção de Sinter



Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com estudos publicados por Meireles (2017), o sinter se forma pela aglomeração a quente de finos de minério, fundentes, calcário e adições que utilizam de dosagens e composições

químicas definidas e que então são levados a altas temperaturas para se transformarem em um composto aglomerado, homogêneo, poroso e dúctil. O fluxo de produção de aço se dá a partir de quatro componentes principais: Sinter, minério de ferro, pelotas e coque. Adicionadas estas matérias-primas ao alto forno, produzem-se ferro-gusa e escória de alto forno que, de acordo com Souza (2018) é o coração de uma usina siderúrgica, responsável pela produção do ferro gusa por meio da redução do minério de ferro utilizando-se de carbono como agente redutor e combustível.

Após a produção, o ferro-gusa é transferido para a aciaria, onde passa por dois processos cruciais: a dessulfuração, que remove o enxofre e a conversão no conversor, onde o carbono é eliminado por meio de sopros de oxigênio, resultando na formação de aço líquido. Esse é o fluxo de produção de aço: O aço líquido é solidificado em tarugos através do lingotamento contínuo, esses tarugos passam pela etapa de laminação, onde são cortados, identificados e pesados. O próximo passo é o resfriamento e após essa etapa já podem ser enviados diretamente para os clientes, por via marítima/ferroviária. Parte dos tarugos voltam ao laminador, onde são aquecidos a temperaturas que chegam até 1200 °C, quando são processadas na linha de laminação e, por fim, enroladas em bobinas.

## **4.2 Processamento de Coprodutos**

A empresa estudada gera cerca de 64.266 t/mês dentre os 40 diferentes tipos de coprodutos oriundos do processo de fabricação do aço. Com base nas informações obtidas em diálogos com os funcionários e observação em campo, constatou-se que diversos coprodutos possuem potencial para serem reintegrados ao processo produtivo como matéria-prima. No entanto, devido às limitações de fabricação dessa unidade, somente uma parte dos coprodutos é de fato utilizada, os demais são dispostos em catálogos e vendidos para outras indústrias dos setores siderúrgico e cimenteiro, ou doados para prefeituras e fazendeiros da região para serem utilizados em pavimentação. Dentre os coprodutos, os mais frequentemente reaproveitados na usina são a escória de aciaria, o pó de carro torpedo e pó de despoeiramento da aciaria.

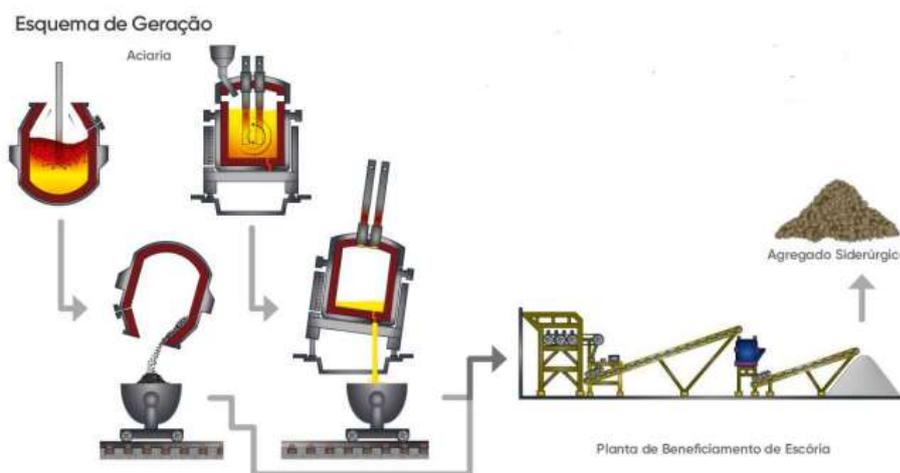
## **4.3 Escória de Aciaria**

De acordo com a ArcelorMittal Brasil (2021), no processo de transformação do ferro-gusa em aço, ocorre a formação de escórias, que são geradas no conversor da aciaria durante a oxidação dos elementos presentes no ferro-gusa e na sucata adicionada no forno panela. As escórias do aço produzidas são resfriadas em uma área específica da planta, e posteriormente, passam pelo processo

mapeado a seguir na Figura 2. A empresa estudada realiza o processamento das escórias na planta de beneficiamento de escórias localizada dentro do pátio de metálicos, conforme ilustrado na Figura 3. O processo se dá por meio de britagem, peneiramento e separação magnética, visando a recuperação de todo material metálico presente na escória.

A parte metálica obtida, é despejada em caçambas das carretas que as levam diretamente para o forno panela, juntamente com outras matérias-primas como sucata metálica, sinter e coque, essa mistura se transforma novamente em aço na sua forma líquida. A escória não magnética, oriunda desse processo é segregada e denominada agregado siderúrgico que, é doada para fazendeiros e prefeituras da região para serem reaproveitadas em revestimento primário de ruas urbanas e rurais ou na produção de misturas asfálticas de módulo elevado utilizadas em recapeamento asfáltico.

**Figura 2** - Esquema de geração de escória na aciaria em estudo



Fonte: Catálogo da empresa (2024).

**Figura 3 - Planta de beneficiamento de escória**

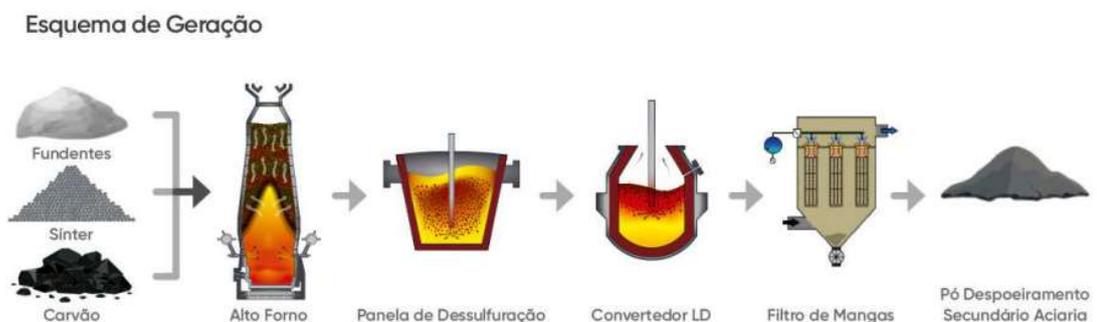


Fonte: Catálogo da empresa (2024).

#### 4.4 Pó de despoejamento da aciaria e Pó de Carro Torpedo

De acordo com a ArcelorMittal Brasil (2021), o pó resultante do processo de fabricação de aço, é coletado a partir do sistema de despoejamento da aciaria (Figura 4) e é responsável por remover particulados sólidos dos gases gerados durante a produção de aço. Essas partículas são geradas após a injeção de oxigênio no ferro gusa líquido para se obter redução dos teores de carbono e impurezas.

**Figura 4 - Esquema de geração de pó de despoejamento da aciaria**



Fonte: Catálogo da empresa (2024).

Os gases gerados arrastam as partículas sólidas que são succionadas pelo sistema de exaustão do Convertedor LD e são, então, conduzidas e coletadas em um sistema de despoeiramento com filtro de mangas (ArcelorMittal,2021). Conforme pode ser observado na visita *in loco*, os materiais coletados são armazenados e acondicionados na planta de Matéria Prima Reciclada, onde aguardam processamento para voltarem ao processo produtivo.

O pó de carro torpedo resulta no processo de dessulfuração do ferro-gusa que ocorre na Aciaria, que são gerados após o sistema de despoeiramento (ArcelorMittal,2021). Esse processo remove parcialmente o enxofre do ferro-gusa líquido dentro do carro torpedo, como demonstrado na Figura 5.

**Figura 5** - Esquema de geração de pó de despoeiramento do carro torpedo

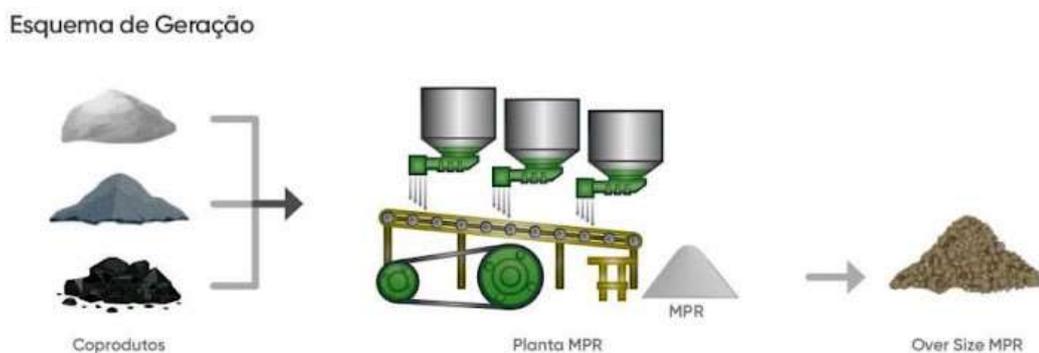


**Fonte:** Catálogo da empresa (2024).

O processo químico acima gera desprendimento e dispersão de partículas oriundos da reação, que são succionadas e direcionadas para um sistema de despoeiramento com filtro de mangas. O pó de carro torpedo é armazenado nos locais especificados com placas de sinalização, localizadas na planta de MPR, onde aguarda processamento para voltar ao processo produtivo. Esse material tem elevado teor de ferro, além de possuir alto valor energético.

Após serem levados para a planta de MPR, os pós de carro torpedo e de despoeiramento da aciaria são adicionados nos silos e misturados juntamente com outros materiais conforme uma receita pré-definida e em dosagens confidenciais, dependendo da necessidade e solicitação dos coordenadores de produção de aço, conforme demonstrado nas Figuras 6 e 7. O material resultante da mistura sai dos silos diretamente para uma peneira que o separa por granulometria. O material fino resultante é chamado de *UnderSize* - MPR e é transportado de volta para o processo de sinterização para ser transformado em sinter. O material que possui granulação maior é chamado de *OverSize* - MPR e, atualmente, é vendido para outras indústrias siderúrgicas para processamento e utilização (ArcelorMittal, 2021).

**Figura 6** - Esquema de processamento dos pós e outras MPR criando o *Undersize*



Fonte: Catálogo da empresa (2024).

**Figura 7** - Planta MPR



Fonte: Autoria Própria (2024).

#### 4.5 Coleta e Processamento de Sucata Metálica

De acordo com as informações do especialista do pátio de sucata metálica obtidas durante a visita *in loco*, a reciclagem da sucata se inicia com o processo de cadastro do potencial fornecedor na base de dados. Como pré-requisito, cobra-se que o proponente tenha cadastro em entidades ambientais como a Fundação Municipal do Meio Ambiente - FEAM, Instituto Brasileiro do Meio

Ambiente – IBAMA e Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR.

A estrutura de coleta de sucata ocorre por três maneiras distintas, a primeira forma se dá por meio de reciclagem interna de materiais metálicos e ferrosos, como máquinas obsoletas, caixas de ferro, entre outros. A segunda forma de obtenção de sucata metálica, conta com uma rede de coletores fixos em diversos pontos na cidade, que se dá por meio de utilização de caçambas localizadas próximas às empresas de usinagem cadastradas. As empresas enchem as caçambas com materiais metálicos com potencial de reutilização ou reciclagem, oriundos de seus processos produtivos. Esses coletores são recolhidos conforme atingem sua capacidade máxima de sucata e então são vendidos à empresa estudada que aproveita integralmente todos os tipos de sucata metálica no seu processo de fabricação do aço, incluindo aquelas provenientes do acondicionamento de matérias-primas e quaisquer outros materiais de consumo interno. Após serem devidamente separadas, essas sucatas são encaminhadas ao pátio de resíduos metálicos da unidade de João Monlevade-MG, ilustrado pela Figura 8. Nesse pátio, são processadas juntamente com as demais sucatas recolhidas. A terceira forma de obtenção de sucata metálica pela empresa estudada, se dá por meio de compras de materiais metálicos de outras indústrias, ferros velhos, desmanches de veículos e empresas de demolição em todo Brasil (ARCELORMITTAL, 2018).

**Figura 8** - Pátio de Sucata Metálica Central da Empresa



Fonte: Distribuição da empresa.

A empresa mantém um escritório de compras de sucata metálica e um depósito central na cidade de Belo Horizonte/MG. Estes compradores descobrem possíveis fornecedores pelo país, os visitam, verificam as licenças ambientais, os cadastram e por fim adquirem a sucata metálica. Este material é enviado para as usinas da empresa de acordo com que elas solicitam, sendo assim, uma parte dessa sucata adquirida é transferida para a unidade de João Monlevade, que no total, recicla cerca de 3.022 toneladas de sucata mensalmente.

No pátio de sucata metálica, os materiais são processados e separados por equipamentos eletromagnéticos, que recolhem somente as partes ferromagnéticas. Os equipamentos desligam o potencial de magnetização para abastecimento das caçambas das carretas, que levam as partes metálicas diretamente para o forno panela, juntamente com outras matérias-primas, como sinter e coque, onde o material novamente se transforma em aço na sua forma líquida. O processo com eletroímãs, mostrado na Figura 9, visa garantir que apenas os materiais de natureza metálica sejam direcionados para o forno panela, enquanto os demais resíduos, como areia e plástico, são devidamente encaminhados para outros processos de tratamento ou enviados para os aterros industriais que a empresa possui.

**Figura 9** - Equipamento eletromagnético em atuação no pátio de sucatas em João Monlevade



**Fonte:** Autoria própria (2024).

#### 4.6 Análises e Discussões

Nesta etapa, realizou-se a interpretação e a discussão dos dados obtidos através do questionário aplicado nos funcionários envolvidos diretamente no contexto da produção de aço, atreladas as informações obtidas com as visitas *in loco*. A metodologia de análise de dados, foi

inspirada em análise de conteúdo, considerando as respostas dos entrevistados e as comparando com os fundamentos estabelecidos na revisão bibliográfica.

#### 4.6.1 Levantamento de dados do questionário

Quando se trata dos tipos de resíduos gerados, os entrevistados descreveram uma ampla variedade de materiais, tais como, escórias de alto forno, pós de despoejamento, lamas ferrosas, escórias metálicas e outros resíduos recicláveis. Esses resíduos são denominados na empresa estudada como coprodutos, pois ainda possuem potencial de reciclagem/reuso. Os entrevistados apontaram a utilização de coprodutos e sucata metálica como principal vantagem a redução de custos e o aproveitamento sustentável dos materiais. A Coordenadora de Coprodutos e o Coordenador de Projetos de Alto Forno, destacaram a importância das escórias como um dos principais coprodutos gerados. Tal observação está em consonância com a literatura, que aborda o reaproveitamento das escórias como uma prática vantajosa uma vez que preserva recursos naturais e reduz a emissão de gases poluentes, como apontam Segundo Cruz, Timóteo e Correia (2021).

No que diz respeito à destinação dos resíduos não reaproveitáveis, os entrevistados evidenciaram a prática de envio para aterro industrial controlado, após tratamento e segregação. Tanto o Engenheiro de Aciaria quanto a Coordenadora de Coprodutos confirmaram essa abordagem, entretanto a última disse que a prática é pouco comum, pois o potencial de utilização destes materiais é vasto e os materiais que não são reaproveitados internamente são vendidos para outras indústrias. Entretanto, esta prática exige atenção quanto ao impacto ambiental gerado, quando estes materiais são dispostos em aterros ou em pátios de estocagem, aumentam o risco de contaminação do meio físico em decorrência da lixiviação de metais pesados eventualmente presentes nesse material (ZHANG, HONG, 2021).

Sobre a política ambiental da empresa, a Especialista de Meio Ambiente, destacou o compromisso com a redução de emissões de carbono e o investimento em tecnologias que minimizem o impacto ambiental. No entanto, o Coordenador de Projetos salientou que a logística destes materiais ainda representa um desafio operacional, pois segundo ele, quando a produção de aço aumenta, os pátios de coprodutos enchem, ficando com pouco espaço para acomodação adequada dos coprodutos. A postura da empresa, está em consonância com a literatura, uma vez que para os autores (BARSANO, BARBOSA, 2017), a empresa deve buscar a redução da geração de resíduos por meio da adoção das melhores práticas tecnológicas e organizacionais disponíveis, atentos a lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outras que visem o desenvolvimento

sustentável dos recursos naturais e uma produção mais limpa dos setores produtivos.

#### 4.6.2 Discussões

Observou-se no estudo *in loco* o comprometimento da empresa com o uso de recursos científicos e tecnológicos, para reaproveitar a sucata metálica e os coprodutos gerados no processo de fabricação do aço. Foi possível constatar a necessidade de implantar em seus canteiros práticas organizacionais para reutilização de diversos tipos de coprodutos e sucata metálica com o objetivo de reduzir custos de produção e diminuir as consequências dos graves impactos ambientais que a atividade siderúrgica pode promover.

O processo observado, bem como todas as informações obtidas dos especialistas comprova que a empresa em análise pratica a logística reversa pós consumo no que tange o reuso de sucata metálica, advinda de reaproveitamento interno de equipamentos obsoletos e das que são fruto de compra de locais como desmanche e ferros velhos. Foi possível validar as informações autorais presentes nesse estudo, como se percebe a seguir: Define-se logística reversa de pós-consumo, um produto durável que é desmontado em componentes, estes, quando em condições de uso, são separados e destinados à reciclagem industrial. Os materiais para os quais não existem condições de revalorização são encaminhados para aterros sanitários (Leite 2017). A caracterização como LR de pós-consumo, ganha ainda mais força quando o autor enfatiza que, “os materiais constituintes dos produtos descartados são extraídos industrialmente, transformando-se em matérias-primas secundárias, que serão reincorporadas à fabricação de novos produtos. O exemplo mais ilustrativo é o da revalorização dos metais em geral: extraídos de diferentes tipos de produtos descartados ou de resíduos industriais para se constituírem em matérias-primas secundárias a serem reintegradas ao ciclo produtivo”, (Leite 2017).

Há a coleta da sucata, inclusive advinda da população, vinculada ao consumismo, mas ciente da importância do descarte adequado, conforme afirmam Luz e Boostel (2019). As propostas de Leite (2009) e de Leite (2017) se encaixam perfeitamente nas operações da empresa estudada quanto às fases da logística reversa (reusar, remanufaturar e reciclar), bem como com os registros do Instituto Aço Brasil (2021) e de Barbosa, Teixeira e Silva (2022), com a aplicação da expressão “economia circular”. Aplicam-se as proposições de Viana (2023) de que é importante que as indústrias siderúrgicas se atentem para a gestão ambiental visto que são um setor crescente e que a economia do país é sensível a seu desenvolvimento.

Monteiro e Branco (2021) recorrem à expressão “economia circular” para evidenciar a importância da reciclagem e da logística reversa nas indústrias siderúrgicas. Para os autores, essa

prática é a principal ferramenta para o desenvolvimento sustentável dessas e de outras indústrias. Nos contextos siderúrgicos, os resíduos produzidos e descartados são nocivos ao meio ambiente e seu reaproveitamento é a melhor alternativa para se minimizar os danos causados ao meio ambiente. Além disso, a sua reutilização reduz custos nas empresas, o que permite por exemplo, menor preço do produto e manutenção de empregos.

Conforme pôde ser registrado, o processo logístico reverso é complexo e exige das empresas comprometimento financeiro e científico de forma que tudo o que possa ser reaproveitado, de fato o seja. O fato de haver processos que auxiliam inclusive pessoas comuns a participarem do processo logístico, seja encaminhando para a empresa sua sucata metálica pós-consumo, seja recebendo da empresa benfeitorias surgidas da própria logística reversa, aponta para a sua essencialidade no cenário em que há proliferação de empresas e de acúmulo de resíduos sólidos delas advindos.

Pôde-se constatar que a logística reversa de pós-consumo não se percebe no processo de reuso dos coprodutos na produção do aço, mas esta prática pode ser classificada como reciclagem, de acordo com a definição da PNRS, além de ser corroborada por Fraga (2014), que dispõe que a reciclagem consiste no reprocessamento em um novo processo de produção, dos resíduos de materiais para o fim inicial ou para outros fins. A caracterização como reciclagem da prática de reutilização dos coprodutos, também é validada pelos autores (Barsano, Barbosa, 2017) que dizem que a reciclagem de resíduos tem como finalidade aproveitar resíduos inutilizados e reutilizá-los em um novo ciclo de produção.

Anjos (2021) aponta o reaproveitamento de agregado siderúrgico para a produção de argamassas não estruturais da engenharia civil. Medeiros (2019) aponta o uso dos coprodutos reutilizados como alternativas de revestimento primário em estradas não asfaltadas. Oliveira *et al* (2018) estudam a aplicação de agregados siderúrgicos em diversos campos e apontam o seu uso em estradas, agronomias, ferrovias e empresas de construção civil, além de a sucata ser reutilizada também na própria aciaria para a redução do custo de suas operações.

Barbosa, Silva e Teixeira (2022) apontam o “aço verde” como uma das iniciativas para se vencer o desafio que as siderúrgicas têm pela frente, que é manter-se economicamente viável no cenário brasileiro e internacional ao mesmo tempo que reduzem a poluição que delas advém. Entretanto, esta prática não pode ser comprovada na unidade da empresa estudada, uma vez que para caracterização de tal prática, deve-se ter comprovação e emissão de certificados de aço com baixa emissão de carbono, embora a empresa afirme que essa unidade está no caminho certo, pois em outras unidades já é possível verificar a emissão de certificação de “aço verde” para um dos produtos do segmento.

O comportamento empresarial analisado está em consonância com a literatura apresentada, de forma que autores e gestores expressam as mesmas preocupações e ofertam as mesmas propostas

de solução para problemas detectados. Por fim, observou-se que o reaproveitamento de sucatas metálicas pode ser considerado logística reversa pós consumo, que o reaproveitamento de coprodutos pode ser considerado como reciclagem e que a expressão “economia circular” é comprovadamente cabível aos processos de logística reversa e reciclagem na empresa siderúrgica analisada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sustentabilidade e autossuficiência são termos que não devem ser negligenciados diante da atual realidade empresarial e industrial no mundo. Quanto mais sustentável é a empresa, mais ela se preocupa em oferecer bens e serviços com qualidade e com custos menores, havendo também a preocupação em minimizar o quanto for possível as consequências danosas para o meio ambiente e para a sociedade.

As empresas siderúrgicas são conhecidas por seu potencial poluente em todos os aspectos e faz parte de sua gestão criar estratégias para reduzi-lo. Assim, a reciclagem de resíduos e logística reversa de pós consumo, assumem nessas empresas um papel essencial no sentido de que, ao reaproveitar as sucatas metálicas e reciclar os coprodutos, transformando-os em outros produtos, reduz a necessidade de extração de minérios, polui menos os ambientes e cumpre um papel social importante. O estudo revelou a essencialidade da reciclagem, bem como da logística reversa pós consumo no estudo de caso em que o objeto foi o reaproveitamento de coprodutos e sucata metálica no processo de produção de aço em uma indústria siderúrgica em João Monlevade-MG.

Foram observados os recursos estratégicos que a empresa utiliza, para que essa boa prática se torne concreta e seja percebida pela sociedade. As informações dos especialistas também permitem essa interpretação. Assim, afirma-se que o objetivo principal desse estudo - analisar se o reaproveitamento de coprodutos e sucata metálica na produção de aço em uma indústria siderúrgica no interior de Minas Gerais se caracteriza como logística reversa de pós-consumo – foi alcançado.

Pode-se concluir que, em termos de importância para o meio ambiental, acadêmico e social em geral, a contribuição do estudo se torna evidente, visto que há a necessidade de maior informação para as pessoas sobre a importância do cuidado coletivo com o meio ambiente. Além do mais, consolida-se a proposta de que a logística reversa também depende de quem não está diretamente vinculado às empresas. Universidades, outras instituições e organizações também devem participar dessas políticas de forma que a logística reversa não seja apenas um tema empresarial ou acadêmico. Para delimitar o estudo de caso, não foram abordados todos os coprodutos reaproveitados na produção do aço, propõe-se então que outros estudos sejam realizados a fim de abordar os demais coprodutos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, Janne C. S. dos. **Reaproveitamento de resíduos do processo siderúrgico do ferro gusa (escória de alto forno) na elaboração de argamassas não estruturais**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2021.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da Ciência: Filosofia e Prática da Pesquisa**. 2. ed. São Paulo, 2012.

ARCELORMITTAL BRASIL. **Catálogo de coprodutos**, 2021. Minas Gerais: 2021. Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/pdf/produtos-solucoes/catalogos/catalogo-sucata-metalica.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2024.

ARCELORMITTAL BRASIL. **Catálogo de Sucata Metálica**, 2018. Minas Gerais: 2018. Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/construcao-civil/manual-de-coprodutos-joao-monlevade?asCatalogo=pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2023.

BARBOSA, Mathias de C. M. **Mercado, reciclagem e as inovações da indústria siderúrgica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2019.

BARBOSA, Mariana O.; TEIXEIRA, Ricardo L. P.; SILVA, Priscila. Aço verde e a sustentabilidade na produção de ferro-gusa. **Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)**, IFSP Itapetininga, v.9, 2022.

BARDIN, Lawrence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2010.

BARSANO, Paulo R.; BARBOSA, Rildo P. **Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro: Érica, 2017. *E-book*. ISBN 9788536521596. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521596/>>. Acesso em: 29 set. 2024.

BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Zahar, 2001.

BRASIL – CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA (CADE). **Cadernos do CADE: Indústria Siderúrgica**. Brasília: CADE, 2022.

BRASIL – PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2010.

CAVALCANTE, Heloiza da S. *et al.* **Uma breve análise sobre a evolução da logística.** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia.XVI. Rio de Janeiro, 2019.

CARDOSO, Leidiana V. O. **Impactos ambientais da indústria de siderurgia na região preamazônica (MA)** – caso de Pequiá de Baixo. Santos: UCS, 2024.

CRUZ, Caio C. Da S.; TIMOTEO, Jacqueline de O. J. ; CORREIA, Tainara F. **Escória de aciaria: gestão de resíduos decorrente da produção do aço.** Barra Mansa: Centro Universitário de Barra Mansa, 2021.

ENESEP. **Áreas da Engenharia de Produção.**: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, XLIII. Disponível em: <<https://portal.abepro.org.br/enesep/2023/wp-content/uploads/2023/03/Areas-e-Subareas-da-Engenharia-de-Producao.pdf>>, Acesso em: 01 fev. 2024.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO MARANHÃO (FIEMA). **Indústria metalúrgica:** estudo setorial. São Luís: FIEMA, 2021.

FRAGA, Simone Carvalho L. **Reciclagem de Materiais Plásticos - Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sociais.** Rio de Janeiro: Érica, 2014. *E-book*. ISBN 9788536520544. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520544/>>. Acesso em: 29 set. 2024.

GARCIA, Bruno R. F.;BERTACI, Moacir J. Logística reversa a caminho da sustentabilidade. **Interface Tecnológica** - v. 17, n. 2 , 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 2016.

GUERRA, Elaine L. de A. **Manual pesquisa qualitativa.** Belo Horizonte: Centro Universitário UNA, 2014

HARA, C. M. **Logística:** armazenagem, distribuição e trade marketing. Campinas: Alínea, 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IAB). **Aço e sustentabilidade.** Rio de Janeiro: IAB, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Práticas em circularidade no setor mineral.** Brasília: IBRAM, 2022.

LEITE, Paulo R. **Logística reversa**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017. *E-book*. ISBN 9788547215064. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547215064/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

LEITE, Paulo R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LUZ, Charlene B.; BOOSTEL, I. **Logística reversa**. Grupo A, 2019 .

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MEDEIROS, Kellen P. M. **Estudo do uso da escória siderúrgica de alto forno e estéril de mineração como alternativa de revestimento primário em estradas não pavimentadas**. Belo Horizonte: UFMG, 2019.

MEIRELES, Lourival M. de A. et al. **Sinterização de minério de ferro utilizando carvão vegetal como combustível**. Ananindeua: Universidade Federal de Belém, 2018.

MONTEIRO, Mayara da S. L. **A aplicação da logística reversa nas metalúrgicas da cidade de Manaus: um estudo aplicado da economia circular**. Manaus: Universidade Estadual do Amazonas, 2021.

NAVARRO, Rômulo F. A evolução dos materiais. Parte 1: da Pré-História ao início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 1, n. 1, 2006.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

NUNES, Marcos T. M. **Estudo da influência da cultura organizacional nas questões ambientais da indústria metalúrgica**. Sorocaba:UFSCAR, 2022.(Dissertação).

OLIVEIRA, Anatielle L. ; MOURA, Magno L. C. de **A importância a logística para as empresas**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/2282206d-6161-4152-b1f7-024f48595616>>, Acesso em: 15 set. 2024.

OLIVEIRA, Bianca Stephanie, *et al.* **Avaliação do potencial do reaproveitamento da escória de aciaria LD como agregado siderúrgico**. Revista gestão e sustentabilidade ambiental. v. 7, n. 2, p.206-229. Florianópolis. 2018.

OLIVEIRA, Maxwell F. de. **Metodologia científica**: um manual para a realização de pesquisas em administração. Catalão: UFG, 2011.

PIAZZA, Cesar A. D. ; APOLINÁRIO, Marco A. **Logística reversa de produtos refratários de siderurgia**: um estudo de caso. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n.1, 2012, p. 19-32.

SANT`ANA, João V. S. **Estudo exploratório sobre sustentabilidade na siderurgia brasileira**: abordagens para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Niterói: UFF, 2024.

SILVA, José N. S. **Siderurgia**. Belém: Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia, 2011.

SOUZA, Renata D. e S. **Caracterização de coque metalúrgico produzido com adição de pneu inservíveis nas misturas de carvão mineral**. Ouro Preto: UFOP, 2016.

THEODORO, Clodoaldo F.; FORTE, Luiz A. **Logística reversa: uma estratégia de sustentabilidade na manufatura**. 2023. Disponível em:

<<https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1496/TCC%20-%20%20CLODOALDO%20FERNANDES%20THEODORO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Acesso em: 12 set. 2024.

VIANA, Fernando L. E. Indústria Siderúrgica. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 8, n. 289, maio/2023.

ZHANG, J.; ZHANG,A.; HUANG, C.; YU, H.; ZHOU, C. Characterising the resilient behaviour of pavement subgrade with construction and demolition waste under FreezeeThaw cycles. *Journal of Cleaner Production*, v.300, 126702, 2021.

## APÊNDICE – PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Este apêndice integra o trabalho como um protocolo de coleta de dados. Ele é estruturado em três seções distintas, cada uma focada em um aspecto específico a fim de analisar a presença de logística reversa no processo produtivo do aço dentro do contexto empresarial estudado. As perguntas formuladas em cada seção, visam direcionar a pesquisa para uma compreensão aprofundada na identificação do ciclo reverso, dos coprodutos gerados na fabricação de aço, mapear o processo produtivo com a utilização de coprodutos e entender quais questões ambientais permeiam acerca deste tema. Este apêndice é essencial para orientar a coleta de informações relevantes, sustentando os resultados, análise crítica e conclusões do estudo.

---

### Seção 1: Identificação do Ciclo Reverso

---

Pergunta direcionadora 1	Qual os tipos de resíduos gerados na fabricação do aço?
Pergunta direcionadora 2	Qual o caminho do resíduo após a fabricação do aço?
Pergunta direcionadora 3	Qual destinação é dada para os resíduos que não podem mais ser reaproveitados no processo produtivo?
Pergunta direcionadora 4	Como se dá a reciclagem dos resíduos que podem ser reaproveitados no processo produtivo?

---



---

### Seção 2: Mapeamento do Ciclo Reverso

---

Pergunta direcionadora 1	Quais são os coprodutos utilizados na fabricação de aço na unidade de João Monlevade?
Pergunta direcionadora 2	Onde e como são armazenados os coprodutos?
Pergunta direcionadora 3	Descreva o processo produtivo até o coproduto voltar ao aço.
Pergunta direcionadora 4	Há alguma empresa terceirizada envolvida? Qual o papel dela?

---

---

**Seção 3: Questões Ambientais na Utilização de Coprodutos**

---

Pergunta direcionadora 1	Quais dificuldades ambientais são enfrentadas com os resíduos gerados?
Pergunta direcionadora 2	Existe alguma política de preservação do meio ambiente no processo de coprodutos?
Pergunta direcionadora 3	Quais as vantagens e as desvantagens na utilização de coprodutos na fabricação do aço?

---