



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DO USO DA SUCATA METÁLICA  
PROVENIENTE DE PEÇAS AUTOMOTIVAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO  
DO AÇO**

**Igor Henrique Santos Gomes**

**Belo Horizonte**

**2023**

**Igor Henrique Santos Gomes**

**AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DO USO DA SUCATA METÁLICA  
PROVENIENTE DE PEÇAS AUTOMOTIVAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO  
DO AÇO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dsc. Daniel Brianezi

Belo Horizonte

2023

**IGOR HENRIQUE SANTOS GOMES**

**AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DO USO DA SUCATA METÁLICA  
PROVENIENTE DE PEÇAS AUTOMOTIVAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO  
AÇO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 26 de junho de 2023

Banca examinadora:

---

Daniel Brianezi – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. DSc. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG –  
Orientador

---

Henrique Vieira Leroy  
Técnico Metálicos. Bacharel em Administração – PUC-MG

---

Gilberto Cifuentes Dias Araújo  
Prof. MSc. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

## PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas ArcelorMittal. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://arcelormittal.portaldeassinaturas.com.br/verificar/AEAA-D63B-E561-7CBC> ou vá até o site <https://arcelormittal.portaldeassinaturas.com.br/verificar/> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido.

Código para verificação: AEAA-D63B-E561-7CBC



### Hash do Documento

8BAA3C28D3520F4B3DCDFD0DBA40BFE96BD26CC17B63D51064FD7F028404C938

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 04/07/2023 é(são) :

- Henrique Vieira Leroy (Signatário) - 120.490.046-99 em 04/07/2023 08:39 UTC-03:00

**Tipo:** Assinatura Eletrônica

**Identificação:** Autenticação de conta; Código de acesso: 0407

### Evidências

**Client Timestamp** Tue Jul 04 2023 08:39:38 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

**Geolocation** Latitude: -19.9660993 Longitude: -44.0737326 Accuracy: 20

**IP** 200.192.219.160

**Assinatura:**



### Hash Evidências:

BA8F011327FA72C32FF134B2FA285D6646EBF929C3DCA746E9ADA568D8B632DD





Emitido em 26/06/2023

ATA Nº 3/2023 - DCTA (11.55.03)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 04/07/2023 11:51 )

DANIEL BRIANEZI

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

CEAMS (11.51.05)

Matrícula: ###606#1

(Assinado digitalmente em 04/07/2023 11:57 )

GILBERTO CIFENTES DIAS ARAUJO

PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

DEPT (11.50)

Matrícula: ###863#8

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **3**, ano: **2023**, tipo:  
**ATA**, data de emissão: **04/07/2023** e o código de verificação: **c1b329510a**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, sou imensamente grato aos meus pais pelo apoio incondicional em todos os momentos, pelo suporte constante e pelo esforço dedicado para me ajudar nessa jornada.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos da faculdade, que estiveram ao meu lado diariamente, seja nas atividades acadêmicas, nas convivências ou como parte do meu grupo favorito. O apoio de vocês foi fundamental.

Um agradecimento especial ao Henrique, Mari, Pedro, Maycon, Luciana e a todos que contribuíram e me ajudaram ao fornecer incentivo, informações necessárias para a construção do trabalho, esclarecendo dúvidas e compartilhando questões relevantes.

Não posso deixar de mencionar a Letícia, que foi um apoio fundamental durante todo o processo, especialmente pelo incentivo constante para a continuidade do projeto.

Meu agradecimento também vai para o Prof. Dsc. Daniel, que acompanhou de perto e forneceu valiosas dicas para a implementação do projeto.

Por fim, sou grato a todos que, de alguma forma, me apoiaram ao longo dessa jornada para chegar a este momento. Tenho um carinho especial por cada um de vocês.

## RESUMO

GOMES, Igor Henrique Santos. **Avaliação dos benefícios do uso da sucata metálica proveniente de peças automotivas no processo de produção do aço.** 2023. 90f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

A indústria automotiva gera uma grande quantidade de resíduos, principalmente de veículos em fim de vida, peças e componentes descartados. A reciclagem desses resíduos tem se mostrado uma alternativa sustentável e economicamente viável, que reduz o impacto ambiental e aproveita os recursos existentes. Em consideração a isso, o objetivo geral do presente trabalho é avaliar os benefícios econômicos da utilização de sucatas metálicas da indústria automobilística em relação ao uso de outras sucatas metálicas. A metodologia utilizada consistiu na obtenção de dados primários junto à unidade intermediária de recebimento de sucata metálicas e da usina de recebimento, ambas localizadas na região Sudeste e de dados secundários disponíveis na literatura referentes a estudos e projeções sobre o processo de reciclagem automotiva na produção de aço. A avaliação dos benefícios foi realizada por meio de cenários, correlacionando os dados primários obtidos para verificação do custo para a produção do aço. Foram propostos 8 cenários, variando possibilidades de porcentagem do mix metálico da sucata metálica, classificadas como estamparia e a graúda, fixando o preço e também o valor do processamento destas. Além disso, elaborou-se simulação de incertezas com base em variações de preço e mix metálico. Verificou-se que tanto para a primeira simulação, quanto para segunda, o menor custo para produzir o aço é da sucata metálica de estamparia, quando comparado a sucata metálica graúda.

Palavras-Chave: Economia Circular. Sucata estamparia. Reaproveitamento. Siderurgia.

## ABSTRACT

GOMES, Igor Henrique Santos **Evaluation of the benefits of using scrap metal from automotive parts in the steel production process**. 2023. 90f. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

The automotive industry generates a large amount of waste, mainly from end-of-life vehicles and discarded parts and components. Recycling this waste has proven to be a viable, sustainable, and economical alternative that reduces the environmental impact and takes advantage of existing resources. In consideration of this, the general objective of the present work is to evaluate the psychological benefits of using scrap metal from the automobile industry in relation to other scrap metal. The methodology used consisted of obtaining primary data from the scrap metal receiver genetic unit and the receiving plant, both located in the Southeast region, and secondary data available in the literature referring to studies and projections on the automotive recycling process in the production of steel. The evaluation of the benefits was carried out through scenarios, correlating the primary data obtained to verify the cost of steel production. There were 8 proposed scenarios, varying possibilities of percentage of metallic scrap metal mix, classified as stamping and coarse, and fixing the price and the processing value of these. In addition, a variation simulation was carried out based on price and metallic mix variations. It was found that both for the first simulation and for the second, the lowest cost to produce steel is stamping metal scrap when compared to coarse metal scrap.

Circular Economy. Stamping scrap. Reuse. Steel industry.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Aço .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Aplicabilidade .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Rota tecnológica aço .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Rota tecnológica integrada .....</b>	<b>25</b>
<i>3.4.1.</i>	<i>Aglomeraco - Sinterizao .....</i>	<i>25</i>
<i>3.4.2.</i>	<i>Alto-forno .....</i>	<i>26</i>
<b>3.5</b>	<b>Ferro-gusa .....</b>	<b>28</b>
<b>3.6</b>	<b>Fornos LD.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7</b>	<b>Rota Semi integrada .....</b>	<b>30</b>
<b>3.8</b>	<b>Forno eltrico a arco.....</b>	<b>31</b>
<i>3.8.1.</i>	<i>Carga metálica .....</i>	<i>32</i>
<b>3.9</b>	<b>Lingotamento .....</b>	<b>33</b>
<b>3.10</b>	<b>Logística Reversa .....</b>	<b>34</b>
<b>3.11</b>	<b>Sucata metálica .....</b>	<b>35</b>
<i>3.10.1.</i>	<i>Classificao e enquadramento.....</i>	<i>35</i>
<i>3.10.2.</i>	<i>Disposio final sucata metálica.....</i>	<i>41</i>
<i>3.10.3.</i>	<i>Impurezas .....</i>	<i>41</i>
<b>3.12</b>	<b>Shredder .....</b>	<b>42</b>
<b>3.13</b>	<b>Oxicorte .....</b>	<b>43</b>
<b>3.14</b>	<b>Sucata metálica automotiva .....</b>	<b>44</b>
<b>3.15</b>	<b>Automvel .....</b>	<b>46</b>
<b>3.16</b>	<b>Desmonte automotivo .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1</b>	<b>rea de Estudo.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Obteno dos Dados Primários .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>Obteno dos Dados Secundrios .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliao de cenários .....</b>	<b>54</b>

4.4.1. Sucata metálica estamparia .....	54
4.4.2. Sucata metálica graúda .....	56
<b>4.5 Preço médio de mercado .....</b>	<b>58</b>
<b>4.6 Modelagem de incertezas .....</b>	<b>58</b>
4.6.1. Determinação da confiabilidade .....	62
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1 Avaliação dos dados primários.....</b>	<b>63</b>
<b>5.2 Avaliação dos dados secundários .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 Cenários.....</b>	<b>71</b>
5.3.1. Sucata Estamparia.....	71
5.3.2. Sucata Graúda.....	72
<b>5.4 Modelagem dos resultados.....</b>	<b>73</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>
<b>APENDICE A TABELA SIMULAÇÕES - PRIMEIRAS 25 .....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> - Produtos do Aço .....	19
<b>Figura 3.2</b> - Elementos presentes na estrutura do aço e suas influências. ....	21
<b>Figura 3.3</b> - Setores com maior parcela do consumo aparente de aço no Brasil .....	23
<b>Figura 3.4</b> – Rota Tecnológica do Aço.....	24
<b>Figura 3.5</b> - Visão micro das partículas no processo de sinterização .....	25
<b>Figura 3.6</b> - Representação das linhas de temperatura Alto-Forno .....	27
<b>Figura 3.7</b> - Produção Mundial Aço Bruto .....	28
<b>Figura 3.8</b> - Esquema simplificado fornos LD .....	29
<b>Figura 3.9</b> - Impactos ambientais rotas tecnológicas do aço .....	30
<b>Figura 3.10</b> - Insumos utilizados nas rotas tecnológicas .....	31
<b>Figura 3.11</b> - Esquema simplificado fornos elétricos .....	32
<b>Figura 3.12</b> - Consumo interno sucata metálica .....	35
<b>Figura 3.13</b> - Pacotes/Blocos compactados sucatas .....	36
<b>Figura 3.14</b> - Estamparia .....	37
<b>Figura 3.15</b> – Estamparia preta peças veiculares.....	37
<b>Figura 3.16</b> - Ferro Fundido .....	38
<b>Figura 3.17</b> - Sucata Graúda.....	38
<b>Figura 3.18</b> - Sucata Miúda .....	39
<b>Figura 3.19</b> - Sucata Mista.....	40
<b>Figura 3.20</b> - Sucata oxicorte.....	40
<b>Figura 3.21</b> - Sucata Alumínio .....	41
<b>Figura 3.22</b> - Produtividade dos fornos elétricos com ou sem despoeiramento .....	42
<b>Figura 3.23</b> - Esquema shredder .....	43
<b>Figura 3.24</b> - Composição média dos materiais presentes nos veículos novos. ....	48
<b>Figura 4.1</b> - Produção Usina Semi-integrada .....	52
<b>Figura 4.2</b> - Sucata Graúda.....	57
<b>Figura 4.3</b> – Resumo dos cenários aplicados.....	58
<b>Figura 5.1</b> - Média de Caminhões - Recebimento .....	63
<b>Figura 5.2</b> - Média de Caminhões diária de sucata expedidas para planta industrial.....	64
<b>Figura 5.3</b> - Consulta realizada a CETESB parte 1 .....	67
<b>Figura 5.4</b> - Consulta realizada a CETESB parte 1 .....	68

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 4-1</b> – Limites utilizados .....	60
<b>Tabela 5-1</b> - Peso total enviado a planta industrial por ano.....	65
<b>Tabela 5-2</b> - Cenários utilizando sucata de estamperia .....	71
<b>Tabela 5-3</b> - Cenários utilizando sucata graúda.....	72
<b>Tabela 5-4</b> – Cenários avaliando custos das sucatas .....	73
<b>Tabela 5-5</b> – Simulação aplicada.....	73
<b>Tabela 5-6</b> - Simulação graúda mais vantagem.....	74
<b>Tabela 5-7</b> - Análise da confiabilidade dos cenários .....	76
<b>Tabela 5-8</b> – Análise Desvio Padrão e Variância .....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CRV - Centros de Reciclagem Veiculares

ELV – End Life Veicules

ESBS – Estamparia Branca Solta:

ESPS – Estamparia Preta Solta:

FEA - Forno Elétrico A Arco

FOFO – Ferro Fundido:

GRAU – Graúda:

LD - Linz-Donawitz,

MISM – Mista Miúda:

MISS – Mista

MTR – Manifesto Transporte de Resíduos

OXIC - Oxicortada

PACH – Pacote de Chaparia;

PAEB – Pacote de Estamparia Branca;

PAEP – Pacote de Estamparia Preta

SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

## 1 INTRODUÇÃO

O aço é uma liga metálica constituída de ferro e carbono comumente utilizado pela sociedade nos mais variados produtos acabados e empregado nos mais diversificados projetos e setores, como automobilístico e da construção civil (AÇO BRASIL, 2022). O Brasil, atualmente, é o 9º (nono) maior produtor de aço no mundo, com mais de 30 milhões de toneladas de aço no ano de 2020, conforme a associação mundial dos produtores de aço (WORLD STEEL, 2021). Os parques produtores nacionais do aço estão dispostos em 10 estados. O estado de Minas Gerais foi responsável por 30%, aproximadamente 11 milhões, de tonelada de aço. Atualmente, existem rotas tecnológicas para produção do aço no Brasil: integrada e semi-integrada. A primeira rota é caracterizada por três etapas, representada por 80% da produção do aço: Redução do minério, refino e conformação, A segunda opção trata-se da produção sem utilização da etapa de Redução, isto ocorre por conta da utilização da sucata metálica e do ferro gusa diretamente no forno de produção (AÇO BRASIL,2022).

A sua polivalência da aplicação é refletida no cenário mundial com incentivos e investimentos na siderurgia com o desenvolvimento de pesquisas com intuito de aperfeiçoar a manufatura alinhado com a sustentabilidade do produto acabado (REIS, 2015). Deste modo, o aço semelhante a outros materiais, como o vidro, detém a propriedade de ser 100 % reciclável.

O aço e outros metais, quando descartados de maneira incorreta, na natureza podem levar cerca de 500 anos para se degradarem (REIS, 2015). Deste modo, a logística reversa do produto metálico contribui para um meio ambiente equilibrado removendo-os das destinações incorretas como aterros e lixões. O aço pode ser um componente crítico de maquinário, transporte e demais atividades diárias. O reaproveitamento do aço em final de vida, ou de obsolescência, tem suas vantagens ambientais. Os incentivos como as certificações ambientais (Selo Chico Mendes, Selo B, entre outros) são modelos de que não só valorizam ação sustentável, como um todo de modo geral, mas, atestam a qualidade ambiental e socioambiental de determinado produto, agregando na disputa de mercado do aço reciclado. Em conformidade, cada tonelada de aço reaproveitado equivale a economia de, aproximadamente, de 1 (uma) tonelada de minério de ferro (MONFERRATO, 2022).

A reciclagem do aço, deste modo, apresenta um cartel de usos alinhados ao princípio da economia circular e da logística reversa. Leite (2017), define a logística reversa como a área responsável pelo planejamento e retorno de produtos a sua cadeia produtiva e outros usos. A prática tende a suprir estratégias empresariais e não somente fatores econômicos, como a compreensão do modelo circular da gestão dos resíduos. Em consoante, a utilização dessa cadeia de aproveitamento determina o ciclo de usos múltiplos dos produtos acabados e da matéria-prima, minimizando a subordinação de únicos recursos e atenuando custos (AZEVEDO, 2015). No Brasil, a logística reversa é pautada legalmente na Política Nacional de Resíduos Sólidos, aperfeiçoada em 2021 com o Programa Nacional de Logística Reversa, Decreto 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Em conformidade, aos instrumentos legais, o descarte ambientalmente adequado, bem como o reaproveitamento de produtos e embalagens - após seu uso, são definidos e instituídos pelas legislações vigentes, além de suas devidas responsabilidades coletivas (BRASIL, 2022). Deste modo, destaca-se a participação da siderurgia do Brasil com grande inserção no mercado de logística reversa, representando mais de 10 mil toneladas em 2021- consumidas na cadeia produtiva, comparados com quase 9 mil toneladas no ano de 2018, em pré pandemia (AÇO BRASIL, 2022).

A Associação Brasileira de Limpeza Urbana, ABRELPE, destaca que em coletas de limpeza urbana e domiciliar, cerca de 3% do total de produtos recicláveis coletados é representado pela sucata metálica (ABRELPE, 2022). Segundo o Instituto Aço Brasil - entidade representativa das empresas brasileiras produtoras de aço – referente ao ano de 2021, a utilização da sucata metálica como base produtiva, alcançou a marca de 10 milhões de toneladas - representando 20% do mercado nacional da produção do aço (AÇO BRASIL, 2022).

A sucata metálica pode ter origem na obsolescência de alguns bens de consumo, como é o caso de veículos e/ou restos de produção, erros de fabricação - como coprodutos de cortes ou maçaricos (GOMES, 2014). Neste modo, a sua geração é compartilhada pela geração interna, sobras e cortes de peças de aço e do desuso deste produto, como é o caso da sucata automotiva (MME, 2009).

Apesar de ser umas das principais demandas, os veículos são compostos por 50% de aço e o remanescente é subdividido em outros insumos não ferrosos e não metálicos - onde

representam impurezas, ou seja, itens indesejáveis e controláveis para a aciaria (AÇO BRASIL, 2022). Por esse fato, além da descontaminação dos veículos (retirada de gases, fluidos, pneus entre outros) a utilização da sucata metálica automotiva necessita ser trabalhada, ou seja, industrializada - objetivando de aumento sua densidade, com cortes, prensagem e principalmente a redução das impurezas, utilizando maquinários específicos para separação magnética (AÇO BRASIL, 2022; O SUCATEIRO, 2019).

Por maiores, no país existem mais de 20 artigos responsáveis por nortear a destinação correta dos veículos em fim de vida. A Lei 12.977, de 2014, é um exemplo dos aspectos legais, já que regula a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres, não apenas citando a possibilidade do processamento da usina semi-integrada, mas outras destinações viáveis (SILVA.J, 2021).

Conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores, SindiPeças, a vida útil de um veículo é, em média, 10 anos. Nos períodos de 2020 e 2021, circularam mais de 39 milhões de unidades de veículos nas ruas, predominantemente veículos pequenos (SINDIPEÇAS, 2021). Estima-se então que em 10 anos a problemática dos veículos sucateados tendem a ser um problema de gestão.

Outra via de aproveitamento da sucata metálica automotiva, advém da própria indústria automotiva, no qual carcaças de veículos ou até mesmo veículos usados para testes viram resíduos e por si passivos ambiental para a empresa (RIBEIRO, 2018). Para este tipo de sucata metálica destaca-se o alto grau de pureza, tornando-se um insumo com grande valor de mercado para a produção do aço (NASCIMENTO, 2018)

O desafio do reaproveitamento da sucata metálica automotiva, tange na sua disponibilidade de uso e rentabilidade. Deste modo, o presente estudo tem como objetivo correlacionar o uso da sucata automotiva no processo produtivo do aço e os devidos ganhos em relação ao tipo de sucata metálica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os benefícios econômicos do uso da sucata metálica do tipo estamparia para a produção de aço.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar os possíveis tipos e uso de sucata metálica na cadeia produtiva do aço através de uma pesquisa bibliográfica.
- Avaliar diferentes cenários do uso da sucata metálica do tipo estamparia para a produção do aço avaliando as variáveis envolvidas;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Aço**

O aço é uma liga estrutural com teor de carbono de no máximo 2%, em sua forma ligada ou dissolvida, podendo conter elementos de liga adicionados ou residuais como: manganês, cromo, silício, nióbio, molibdênio, níquel e etc. (CSN, 2022). Deste modo, a proporção de adição maior que 8%, já é considerado de alta liga. Um dos exemplos mais vistos no mercado é o aço inox, que contém 10% em teor de cromo, conferindo proteção contra a oxidação. Por outro lado, alguns elementos presentes no aço, de modo geral, são prejudiciais às suas propriedades. Os principais são: fósforo e enxofre e gases dissolvidos como hidrogênio e nitrogênio.

Os tipos de aços referentes às suas aplicações são:

- **Aço Longo:** Cujas especificações técnicas abrangem uma seção transversal cujo comprimento é desproporcionalmente maior que ela. São fabricados em aço carbono e aço especial inclui barras e produtos estruturais (CSN, 2022).
- **Aço Plano:** Tem como especificação técnica largura extremamente superior a espessura (CSN, 2022).

Além disso, cada tipo de aço pode ser classificado conforme sua composição:

- **Aço Carbono:** Com composição de carbono com valores entre 0,01% e 2,11%, caracterizando cerca de 90% da produção mundial (GAC, 2017).
- **Aços Ligas:** São caracterizados pela presença de outros elementos além da constituição do ferro e carbono - para alterar propriedades mecânicas e estruturais para determinados usos. Dentre esses são classificados em baixa liga a alta liga, com teores de 5 a 12%, respectivamente (GAC, 2017).

#### **3.2 Aplicabilidade**

A sua flexibilidade nas aplicações do dia a dia é inúmera, sendo observado nos mais variados ambientes. Entre suas funcionalidades, o aço é empregado em restaurantes, cozinhas industriais, hospitais, laboratórios, empresas em geral e residências, tendo a resistência

necessária para os mais variados usos em forma de utensílios domésticos. Outro uso aplicado está na construção civil, o material pode estar presente como parte das obras ou como insumo principal. Em virtude disso, utilização do aço permite flexibilidade ao projeto de arquitetura, bem como alívio de carga nas fundações e garantia de qualidade (AÇO BRASIL, 2022).

**Figura 3.1 - Produtos do Aço**



Fonte: Adaptado de Aço Brasil (2022)

As principais características que permitem sua versatilidade são relacionadas a adição do carbono e de os outros elementos de liga, que quando adicionados à proporção permitem resistência a baixas e altas temperaturas, superfície que evita o acúmulo de resíduos, composição química - que o impede descascar, longa durabilidade e baixo custo de manutenção (AÇOS NOBRE, 2022; FERRAZ, 2003).

Na Figura 3.1 são apresentadas algumas influências de cada elemento na propriedade do aço. Para cada aplicabilidade, são adicionados os determinados elementos, sendo:

#### **C - Carbono:**

A resistência mecânica do aço de baixo carbono (até 0,25%), que responde por cerca de 90% de toda a produção de aço, pode ser aumentada pelo trabalho mecânico a frio. Para a produção de aço de qualidade média (até 0,5%), forjados, carcaças de caldeiras, ferramentas agrícolas etc., a resistência mecânica pode ser aumentada por tratamento térmico (IFSC, 2022). O ferro gusa é um exemplo de material que contém alto teor de carbono.

#### **Mn - Manganês:**

O manganês é a impureza encontrada em maior quantidade no aço - Aumenta a conformabilidade, dureza, resistência ao impacto e resistência ao escoamento do aço (IFSC, 2022).

#### **P – Fósforo:**

O fósforo se ultrapassar certos limites, torna o aço ainda mais duro e, portanto, mais frio e quebradiço. Isso significa que partes do aço com teor indesejável de fósforo podem facilmente quebrar quando usadas à temperatura ambiente (IFSC, 2022).

#### **Si – Silício:**

O silício ajuda a remover bolhas de oxigênio do aço fundido. Também é útil para aumentar a resistência e a dureza no lingote, barrametal fundido (IFSC, 2022; AÇOS NOBRE, 2022).

#### **Ni – Níquel:**

O níquel melhora o comportamento do material em baixas temperaturas e melhora a tenacidade à fratura, ou seja, sua capacidade de suportar as forças de tração (IFSC, 2022; AÇOS NOBRE, 2022).

#### **Cr – Cromo:**

O cromo é um forte elemento de liga no aço. Alguns aços estruturais contêm pequenas quantidades de cromo. É usado principalmente para melhorar a dureza e a resistência ao desgaste do aço, bem como a resistência ao escoamento do aço (AÇOS NOBRE, 2022).

**Al: Alumínio:**

Outro elemento adicionado ao metal líquido para promover a oxidação é o alumínio. É usado para evitar a liberação de gases que agitam o aço à medida que se solidifica (IFSC, 2022). A Figura 3.2 apresenta um resumo dos elementos presentes nas estruturas metálicas citadas acima:

**Figura 3.2 - Elementos presentes na estrutura do aço e suas influências.**

<b>Elemento de liga</b>	<b>Influência na estrutura</b>	<b>Influências nas propriedades</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Produtos</b>
<b>Níquel</b>	Refina o grão. Diminui a velocidade de transformação na estrutura do aço.	Aumento da resistência à tração.  Alta ductilidade.	Aço para construção mecânica. Aço inoxidável. Aço resistente a altas temperaturas.	Peças para automóveis. Utensílios domésticos. Caixas para tratamento térmico.
<b>Manganês</b>	Estabiliza os carbonetos. Ajuda a criar microestrutura dura por meio de têmpera. Diminui a velocidade de resfriamento.	Aumento da resistência mecânica e temperabilidade da peça. Resistência ao choque.	Aço para construção mecânica.	Peças para automóveis e peças para uso geral engenharia mecânica.
<b>Cromo</b>	Forma carbonetos. Acelera o crescimento dos grãos.	Aumento da resistência à corrosão e à oxidação. Aumento da resistência a altas temperaturas.	Aços para construção mecânica. Aços-ferramenta. Aços inoxidáveis.	Produtos para indústria química; talheres; válvulas e peças para fornos. Ferramentas de corte.
<b>Molibdênio</b>	Influência na estabilização do carbono.	Alta dureza ao rubro. Aumento de resistência à tração. Aumento de temperabilidade.	Aços-ferramenta. Aço-cromo-níquel. Substituto do tungstênio em aços rápidos.	Ferramentas de corte.
<b>Vanádio</b>	Inibe o crescimento dos grãos. Forma carbonetos.	Maior resistência mecânica. Maior tenacidade e temperabilidade. Resistência à fadiga e à abrasão.	Aços cromo-vanádio	Ferramentas de corte.
<b>Tungstênio</b>	Forma carbonetos muito duros. Diminui a velocidade das transformações. Inibe o crescimento dos grãos.	Aumento da dureza. Aumento da resistência a altas temperaturas.	Aços rápidos.  Aços-ferramenta	Ferramentas de corte.

Fonte: IFSC (2022)

Em números, só no último ano, cerca de 22 milhões de produtos provenientes do aço foram vendidos no país, dentre eles os eletrodomésticos. Os principais produtos derivados dos processos siderúrgicos estão subdividido em: planos e longos. Dentre os aços longos especificam-se vergalhões, tubos, arames, entre outros. Na categoria de planos são produzidos aços de estampagem, blocos estruturais, entre outros (AÇO BRASIL, 2022).

A produção do aço bruto mundial, em 2021 o Brasil ocupou o 9º lugar no *ranking* global, com cerca de 36 milhões de toneladas, representando 1% e 55% dos valores globais e da América Latina, respectivamente (WORLD STEEL, 2021). A China ocupou o primeiro lugar na produção mundial, sendo responsável por 51% da produção do aço, com o quantitativo de 1 bilhão de toneladas. Em suma, os países asiáticos dominam o uso do aço, representados pela China – com 665 kg, Taiwan – 885 kg e Coreia do Sul – 1.075 kg, por habitantes respectivamente. O Brasil apresentou o uso referente a 127 kg por habitante (WORLD STEEL, 2021). José Carlos Martins, em 2011, na entrevista ao canal da BBC, cita que para os países asiáticos advindos de um regime socialista, mesmo com grande número de habitantes a migrar do campo para a cidade, houve o registro do aumento da utilização dos produtos provenientes do aço (FELLET, 2011). No mesmo ano, segundo o anuário do World Steel, a produção do aço na China representou 45% da escala mundial, contra os 51% do último ano, demonstrando a continuidade desse processo citado há 10 anos. A Figura 3.3, representa o quantitativo percentual de cada produto envolvido produto do aço.

**Figura 3.3 - Setores com maior parcela do consumo aparente de aço no Brasil**

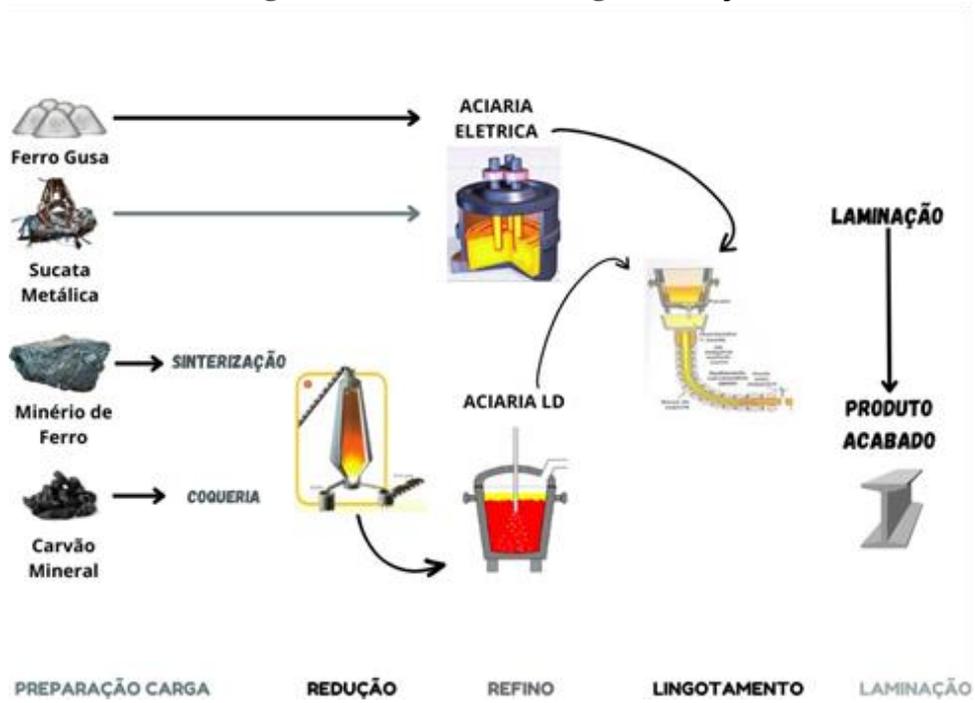
Fonte: Adaptado de Aço Brasil (2022)

Destaca-se na Figura 3.3 a aplicação do aço em maiores percentuais para a atividade de construção civil e no setor automobilístico - que juntamente com a produção de suas peças somam 25% das vendas nacionais. (AÇO BRASIL, 2022).

### 3.3 Rota tecnológica aço

O aço pode ser produzido por uma rota tecnológica ou pela combinação de duas. A primeira rota tem como principais características o uso do minério de ferro e sua redução, para criar aço primário - conhecida como rota integrada, que si utiliza a redução do minério. A produção secundária de aço é possível usando sucatas, por meio de um forno elétrico a arco, também conhecido como rota semi-integrada. Desta forma, metais e materiais adicionais podem ser produzidos usando coque, ferro-gusa, cal e sinter (AÇO BRASIL, 2022). De forma esquematizada, a Figura 3.4 apresenta as opções das duas rotas mencionadas.

Figura 3.4 – Rota Tecnológica do Aço



Fonte: Adaptado de Aço Brasil (2022)

### 3.4 Rota tecnológica integrada

As principais matérias-primas da produção integrada que são essenciais são: minérios, redutores, ferro-liga, entre outros, incluindo a utilização de água, oxigênio e energia elétrica. De acordo com Mourão (2007) o minério de ferro brasileiro é um dos mais ricos em teor de ferro, sendo assim de menor quantidade de impurezas, considerado o de melhor qualidade do mundo. O agregado do minério pode ser obtido em formas de pelotas, sinter ou granulado. A preparação do mineiro para a utilização necessita da secagem, que refere a eliminação da água nas porosidades do material. Esta etapa, tem como principal objetivo minimizar a contaminação do aço com hidrogênio e, conseqüentemente, a liberação de gases, do véis econômico da redução do transporte com a diminuição volumétrica da matéria prima.

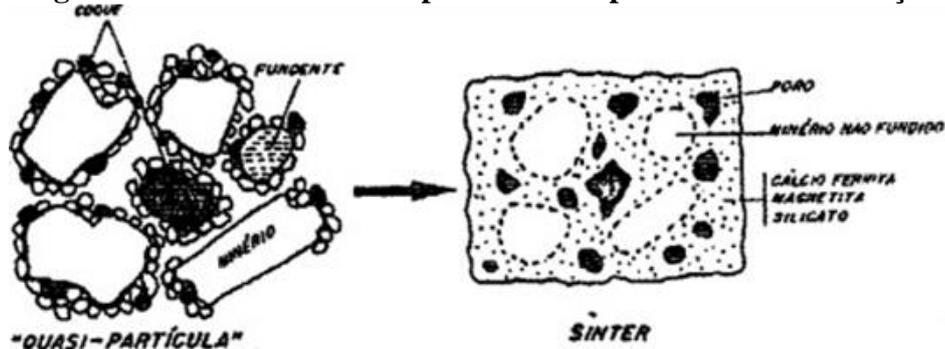
#### 3.4.1. Aglomeração - Sinterização

Outra etapa de preparação do mineiro é a aglomeração, que tem como principal objetivo a homogeneização de partículas finas e de minérios com baixo de teor de ferro, aumentando sua concentração, sendo um dos principais utilizados na siderurgia de sinterização e decorre do processo de aglutinação por meio de tratamento térmico (MOURÃO, 2007).

A sinterização envolve aquecimento a altas temperaturas, tipicamente cerca de 2/3 a 3/4 da temperatura de fusão do metal em questão. Portanto, no caso do ferro, a temperatura de sinterização varia de cerca de 1000°C a 1200°C, sendo primeira a mais comum. No entanto, para ligas ferrosas, como o aço, podem ser alcançadas temperaturas de 1200°C (MOURÃO, 2007).

A Figura 3.5, representa a visão micro do processo de sinterização, descrito acima.

**Figura 3.5 - Visão micro das partículas no processo de sinterização**



Fonte: Mourão (2007)

Na Figura 3.5 retiradas dos estudos de Mourão (2007), mostra a aglutinação das partículas para a formação do sinter - estado fundamental do minério de ferro para as próximas etapas do processo produtivo.

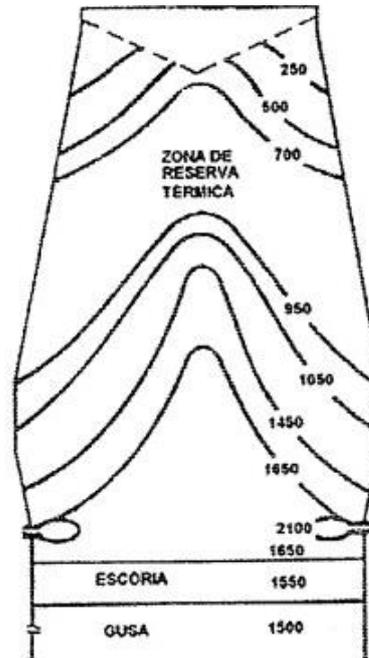
#### 3.4.2. Alto-forno

A redução do minério de ferro nos altos-fornos é uma das etapas da produção do aço, sendo essencial para a produção do ferro gusa líquido - que contém cerca de 5% de carbono, a uma temperatura a 1500°C. Conforme IFSC (2022), a presença do carbono e do silício confere característica de ser quebradiço. Para o alto-forno, de acordo com Mourão (2007), são utilizadas como matérias primas básicas uma carga metálica, como sinter como o principal constituinte do minério de ferro, um combustível sólido, como o coque, que é proveniente da pirolise do carvão mineral, além dos fundentes e injetores (MOURÃO, 2007).

Os principais fundentes acrescidos são o quartzo, o calcário e dolomita. Esses insumos têm como objetivo conferir as escorias - produto composto majoritariamente de silicatos, proporção de óxidos (CaO – Mg – SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Em outras vias, esses óxidos já estão presentes nas impurezas da carga metálica, como o caso da sucata metálica.

O alto-forno tem como principal objetivo a produção da liga com teores, aproximadamente, de 92% a 95% de ferro e de 3% a 5% de carbono e outros elementos de ligas - sendo adicionados conformes porcentagem de acordo com a necessidade do produto (MOURÃO, 2007). O funcionamento básico do alto forno constitui a adição das matérias primas na parte superior, conhecido como “alimentador”. O forno é composto por três diferenças de temperaturas, sendo a mais elevada situada na parte inferior, cerca de 1600°C - onde se depositam os metais pesados, como o ferro gusa e a escória. O perfil térmico do interior do alto-forno é descrito na Figura 3.6, influenciado pelos espaços vazios e movimentação dos fluidos e gases.

**Figura 3.6** - Representação das linhas de temperatura Alto-Forno



Fonte: Mourão (2007)

Por diferença de densidade, esses são retirados do alto-forno. Ainda no processo, as impurezas se fundem nas altas temperaturas, porém, as demais são parcialmente reduzidas e incorporadas ao ferro-gusa, além de ocorrer a reação de incorporação do carbono ao ferro - carbonatação.

De acordo com Mourão (2007), as principais características das zonas internas do alto forno são:

- Zona Granular: onde o minério e o coque, ainda estão na sua configuração conforme foram carregados.
- Zona Coesiva: local no qual o minério de ferro é encontrado misturado com formas coesivas semifundidas.
- Zona de Gotejamento: local onde apresentam interstícios que gotejam gusa e a escória, principalmente.
- Zona de Combustão: onde são injetados sopros de ar quente, fazendo com que o coque circulado, encoste e vão sendo queimados.

- Cadinho: local no qual se depositam a gusa, e a escória, sendo separados por diferença de densidade.

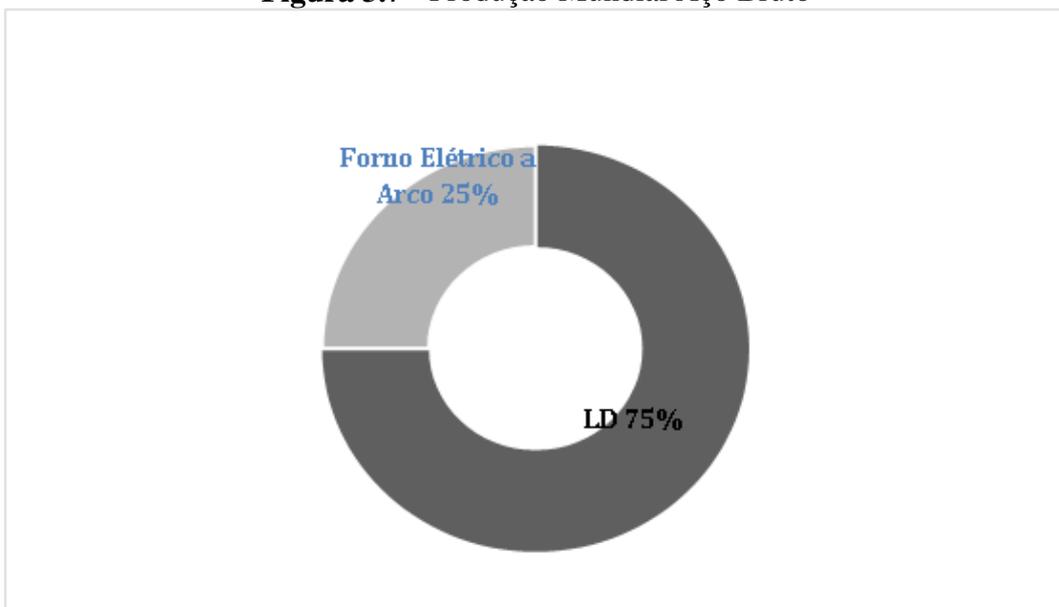
### 3.5 Ferro-gusa

Segundo Mourão (2007), o ferro gusa - produto do alto forno - devido seus teores de carbono, tem como gargalo o molde e sua conformação, sendo assim, não pode ser soldado e nem forjado. Desta forma, faz-se necessário reduzir o seu teor de carbono para continuar a obtenção do aço, através da etapa de refino.

A próxima etapa na produção do aço é a do refino. Nesta etapa ocorre a produção de aço contendo duas tecnologias: o Processo *Linz-Donawitz*, LD e o FEA - forno elétrico a arco, A rota tecnológica da usina semi-integrada é iniciada nesse processo, com o uso da sucata metálica nas aciarias combinados com outros materiais primos.

Conforme Aço Brasil (2022), a aciaria para a produção do aço bruto no país, no ano de 2021, correspondeu em 36 milhões toneladas, sendo 75% produzidos por meio do processo LD e 25% produzidos por meio do forno elétrico a arco. Mundialmente, o processo produtivo utilizando o processo LD apresenta, também, domínio, representado pela Figura 3.7.

**Figura 3.7 - Produção Mundial Aço Bruto**



Fonte: Adaptado de Aço Brasil (2022)

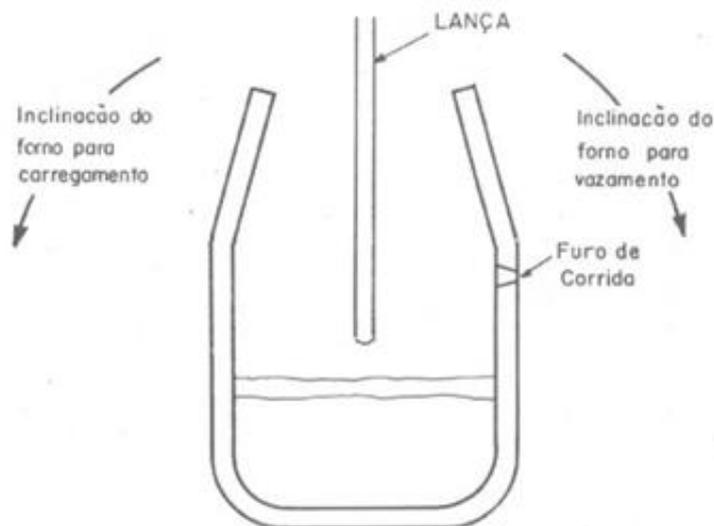
### 3.6 Fornos LD

O processo da fabricação do aço com esta tecnologia tem como base o refino do ferro-gusa pelo oxigênio, juntamente com a cal. A carga do conversor consiste em ferro-gusa líquido, sucata, minério de ferro e aditivos (fluxos) (MOURÃO, 2007). Para oxidar o carbono presente no metal líquido carregado dentro do conversor LD, é necessária uma grande quantidade de energia, pois essa reação é extremamente endotérmica – ou seja, consome calor. Para compensar essa atividade, um dos principais elementos presentes é o silício, formando uma reação extremamente exotérmica (PAREDES, 2017).

A sucata metálica constitui a maior parte da carga sólida do conversor LD. O teor de ferro da sucata metálica costuma ser maior do que o do ferro gusa. A principal sucata utilizada que contém baixos teores de impurezas são as sucatas de retorno, estas são provenientes de “falhas de processo produtivo”. Outra matéria prima utilizada é a cal (MOURÃO, 2007).

A cal tem como objetivo principal a remoção do fósforo e do enxofre. E assim, como base da produção, o oxigênio de alta pureza o que possibilita a diminuição teores de nitrogênio no aço (PAREDES, 2017).

**Figura 3.8 - Esquema simplificado fornos LD**



Fonte: Mourão (2007)

### 3.7 Rota Semi integrada

A rota semi integrada como dito anteriormente é a rota no qual ocorre a produção do aço reciclado, por meio da sucata metálica. Por meio deste processo diversos impactos e a redução de consumo de matérias primas, a rota consome menos energia não renovável como coque, antracito, gás natural, consome menos água e não requer o uso de minérios beneficiados (sinter e pellets) (DE OLIVEIRA MARQUES,2015).

Segundo ainda o autor a economia na produção do aço reciclado abrangem os seguintes itens, conforme

**Figura 3.9 - Impactos ambientais rotas tecnológicas do aço**

Unidade Funcional 1 tonelada de aço bruto produzido	Unidade	Rota Integrada (aço não-reciclado)					Rota Semi-integrada (aço reciclado)	Economia pela reciclagem (%)	
		Beneficiamento (Sinterização)	Preparação da cal	Alto forno (Redução)	Aciairia (Refino)	Total	Aciairia elétrica (Fusão de sucatas)		
Emissões Gasosas									
Saídas - Impactos ambientais gerados	CO <sub>2</sub>	kg	377,1	50,5	808,5	29,5	1265,6	269	78,75
	SO <sub>2</sub>	g	1014	0	10	6	1030	7	99,32
	NO <sub>2</sub>	g	773	6	18	4	801	1	99,88
	CO	kg	25,8	0,005	0,9	4,7	31,405	2,7	91,40
Metais pesados									
Saídas - Impactos ambientais gerados	Pb (Chumbo)	g	6,11	0,03	0,05	0,97	7,16	0,53	92,60
	Cr (Cromo)	g	0,04	0	0,02	0,13	0,19	0,09	52,63
	Cd (Cádmio)	g	0,12	0	0	0,05	0,17	0,09	47,06
	Cu (Cobre)	g	0,67	0,03	0,49	3,22	4,41	0,13	97,05
	Zn (Zinco)	g	1,08	0,08	0,9	7,82	9,88	10,97	11,03 (aumento)
	Ni (Níquel)	g	0,06	0	0,07	0,29	0,42	0,04	90,48
Resíduos / Rejeitos									
Saídas - Impactos ambientais gerados	Líquidos	m <sup>3</sup>	0,39	0,39	0,2	1,12	2,1	0,54	74,29
	Refratários	kg	0	0	0,57	5,77	6,34	7,43	17,19 (aumento)

Fonte: De Oliveira Marques(2015)

Verificou-se que a produção de aço reciclado requer mais insumos. Assim, a coluna “Economia devido à reciclagem (%)” inclui o impacto ambiental resultante. Essa queda deve-se principalmente à redução de insumos utilizados e principalmente pela eliminação de etapas, beneficiamento do minério e pelotização, conforme descrito no capítulo anterior. A análise dos insumos utilizados também foi apontado pelo autor, de modo que como visualizado acima as principais reduções são pautadas na extração e não adição de insumos. Conforme apresentado na Figura 3.10:

**Figura 3.10 - Insumos utilizados nas rotas tecnológicas**

Unidade Funcional 1 tonelada de aço bruto produzido	Unidade	Rota Integrada (aço não-reciclado)					Rota Semi-integrada (aço reciclado)	Economia pela reciclagem (%)	
		Beneficiamento (Sinterização)	Preparação da cal	Alto forno (Redução)	Aciaria (Refino)	Total	Aciaria elétrica (Fusão de sucatas)		
Consumo de materiais									
Entradas - Insumos consumidos	Minério sinterizado	Kg	0	0	1307,71	0	1307,7	0	100
	Pelotas	Kg	0	0	250	0	250	0	100
	Calcário (limestone)	Kg	180,16	123,13	0	0	303,29	0	100
	Água corrente	m <sup>3</sup>	0	0	0,35	90,6	90,95	0	100
	Água de resfriamento	m <sup>3</sup>	0,43	0	23,08	0	23,51	0	100
	Sucata metálica	Kg	0	0	0	295,54	295,54	1201,21	306,4 (aumento)
	Cal viva (quicklime)	kg	20,61	0	0	62,46	83,07	44,7	46,19
	Refratários	kg	0	0	0	63,19	63,19	59,44	5,93
	Eletrodos	kg	0	0	0	0	0	2,21	100 (aumento)
	Consumo de recursos energéticos								
	Antracito	kg	10,56	0	10,68	0	21,24	0	100
	Coque em pó	kg	59,83	0	0	0	59,83	0	100
	Coque	kg	0	0	428,27	0	428,27	0	100
Gás natural	m <sup>3</sup>	0	5,53	0,39	0,41	6,33	4,71	25,59	
Eletricidade	kWh	79,2	2,52	25,52	27,8	135,04	416,89	208,7 (aumento)	

Fonte: De Oliveira Marques(2015)

A redução no consumo de insumos pode ser observada em quase todas as linhas da tabela. Além disso, pode-se observar neste caso que as usinas estudadas pelos autores também utilizavam sucata em sua rota integrada, mas não representativa da quantidade utilizada pela outra rota (semi-integrada).

O uso de eletrodos foi observado devido a mudanças nos fornos da siderurgia, onde os fornos LD foram removidos e adicionados aos fornos elétricos a arco (FEA) (Mourão, 2007)

### 3.8 Forno elétrico a arco

A aciaria elétrica foi datada na década de 40, sendo, prioritariamente, utilizado para a produção de aços longos e aços estruturais. Este fato decorre da sua maior utilização da sucata metálica como carga metálica do forno, sendo essas responsáveis por conter o maior teor de impurezas, dando uma qualidade inferior ao produto - em comparação ao aço produzido com outras cargas metálicas com menores teores desses resíduos. Conforme Mourão (2007), a produção com fornos elétricos apresenta vantagens a serem consideradas:

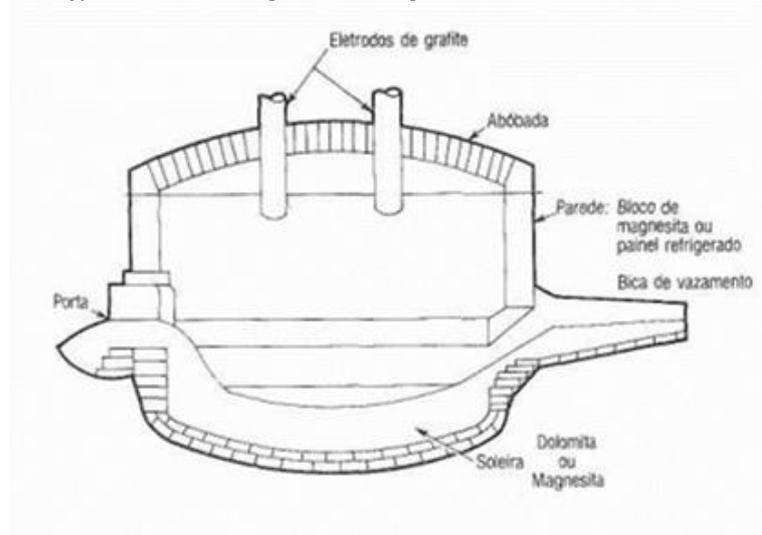
- Quantidade significativa de sucata metálica a ser reciclada, sendo um fator relevante ambiental;

- Emissão de Gás Carbônico, CO<sub>2</sub>, quatro vezes menor e,
- A depender do preço da energia elétrica e custos dos investimentos, o aço poderá ser produzido.

A capacidade de carregar diferentes quantidades de carga sólida, permite sua flexibilidade de produção, podendo ser mudada de forma rápida, sem impacto no processo produtivo (SILVA, 2011). O aço pode ser reciclado infinitamente sem perder suas propriedades originais, de modo que a geração de sucata será uma tecnologia de gestão ambiental. Hoje, cerca de 25 % do ferro mundial é produzido em fornos elétricos (AÇO BRASIL, 2022).

Os componentes básicos de um FEA possuem uma carcaça, abóbada, porta de escória, um canal de vazamento, três eletrodos de grafite com seu sistema de controle e um sistema de queimadores e injetores, conforme a Figura 3.11:

**Figura 3.11 - Esquema simplificado fornos elétricos**



Fonte: Silva (2011)

### 3.8.1. Carga metálica

Segundo Silva (2011), a carga metálica utilizada no forno é o ferro gusa e a sucata metálica. Razões pelas quais o ferro-gusa é um componente crucial das cargas do forno a arco são: usabilidade no lugar de ligas de ferro não integradas e sucata; possibilidade de utilização como enchimento em cargas de fornos a arco.

A disposição da carga metálica de maneira eficiente no forno tem como objetivo principal a redução do consumo de energia e quebras do eletrodo. Assim faz-se necessário o balanço do carregamento da sucata metálica, diferenciando por sua densidade e maximizando a produtividade (SILVA, 2011). Na parte superior do mix metálico, é sugerido o carregamento de sucatas como menor granulometrias, sendo na parte média, as sucatas de maior e na parte inferior a cal.

A carga metálica serve como isolante do arco; arcos elétricos conectam cada eletrodo às sucatas de metal através de reguladores de tensão e corrente. O calor extremo deste arco é usado para fundir a liga de aço em produtos acabados. Os fornos modernos usam lanças de oxigênio, queimadores de gás e injetores de carbono para auxiliar em suas reações químicas. As altas temperaturas deste arco também são usadas localmente para atividades cotidianas como cozinhar. A adição de elementos após a fusão resulta na criação de novos aços com composições químicas alteradas. Isso permite que os metalúrgicos cumpram as especificações de um produto específico. Depois que a carga metálica é fundida no forno, ocorre um processo de refino chamado refino primário do aço. Isso é necessário para reduzir a sucata volumosa a um líquido mais gerenciável. Uma grande quantidade de sucata normalmente ocupa um volume maior do que o aço líquido. Como tal, são necessárias duas a três cargas de material no forno antes do início do refino (SILVA, 2011).

A fabricação de aço envolve várias etapas importantes. Após o término da fusão, o oxigênio é adicionado para remover as impurezas da sucata - esse processo é chamado de refino do aço. Assim, quando o carbono é adicionado ao banho, ocorre o processo de desoxidação. O controle de temperatura, nível de oxidação e composição química são os próximos passos críticos na fabricação de aço (MOURÃO, 2007).

### **3.9           Lingotamento**

Esta fase tem como objetivo solidificar o aço Líquido, homogêneo proveniente da área de refino, em uma forma desejada capaz de permitir aos processos seguintes - a transformação em produtos acabados, na forma de chapas, vigas, vergalhões, entre outros (MOURÃO, 2007).

### 3.10 Logística Reversa

A logística reversa é área da logística com foco no retorno de materiais já utilizados para o processo produtivo visando reaproveitamento ou descarte apropriado e a preservação ambiental sancionada pelo Governo Federal a Lei 12.305 - que trata da política nacional de resíduos sólidos (LEITE, 2017). Detalha-se em seu terceiro capítulo, no artigo 12, a criação do Programa Nacional de Logística Reversa, sendo um instrumento de coordenação e de integração, com objetivo de otimizar proporcionar e possibilitar utilizar o que a implementação operação da infraestrutura física e logística (BRASIL, 2022).

Em linhas gerais a logística reversa abrange a produção, consumo e retorno desses produtos para a cadeia produtiva. Como descrito, o aço é um dos produtos que apresentam a característica de ser infinitamente reciclado, isto é, seja qual for sua condição final, oxidado ou não, pode ser produzido por meio da utilização de sua sucata. Todavia, ocorre o compartilhamento de responsabilidades nos pós consumo entre: comerciantes, consumidores e o poder público (LEITE, 2017).

Conforme descrito no artigo 14, em que os fabricantes os importadores os distribuidores e os comerciantes que deverão que estruturar e implementar e operar o sistema de logística reversa. Com a implementação do decreto ocorre os acordos setoriais e os ternos de compromisso que são firmados entre o poder público e o setor empresarial estendida que aos produtos comercializados em embalagens de plástico de metal ou de vidro(SINIR, 2022).

Sobre a documentação de acompanhamento e normatização, o decreto intitula o MTR – Manifesto Transporte de Resíduos, este é auto declaratório e válido em todo o território nacional que ele é emitido pelo gerador, que contém informações sobre o resíduo a ser encaminhado para a destinação, o gerador, o transportador e o destinador. A definição do resíduo é feita pela informação sobre o tipo, o número, a classe e as formas de tratamento e descarte do resíduo. Um novo MTR deve ser lançado pelo produtor a cada vez que um pacote de detritos for transferido para um local de descarte (SINIR, 2022).

A nível nacional a gestão dos resíduos e transportes desses é administrado pelo SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, o sistema permite

que os usuários, empresários e poder público rastreiem os resíduos gerados e/ou recebidos (SINIR, 2022). A logística reversa da sucata metálica, mesmo que não pautada pelo decreto 10.936/22 é obrigatório a emissão do documento MTR para transporte e destinação do resíduo.

### 3.11 Sucata metálica

Sucata pode ser entendida como produto da geração industrial, sendo provenientes de rejeitos industriais e pela obsolescência de bens de consumo e de capital (ANDRADE, 2000). No ano de 2009, o Ministério de Minas e Energia elencou os tipos de sucata ferrosa e de sua geração (MME, 2009):

- Sucata de Geração Interna: É o aço sucateado proveniente de erros de processo ou itens da própria planta em obsolescência.
- Sucata Industrial: Trata-se de uma sucata de alta qualidade pela composição química conhecida e pela baixa quantidade de contaminantes.
- Sucata de Obsolescência: Trata-se de bens de consumo de ferro ou aços já obsoletos pelo uso, tais como automóveis, eletrodomésticos, silos e tanques de estocagem.

Segundo o Aço Brasil (2022) o consumo interno de sucata metálica no país no ano de 2021 foi em torno de 2 milhões de toneladas, tendo o aumentado ao longo dos anos, mas ainda com valores abaixo do que foi gerado em 2018.

**Figura 3.12 - Consumo interno sucata metálica**

<b>Insumo</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Sucata de Ferro e Aço (toneladas)	3.061.000	2.584.000	2.501.000	2.620.000

Fonte: Adaptado Aço Brasil (2022)

#### 3.11.1. Classificação e enquadramento

- Blocos Compactados

Sucata metálica prensada em blocos ou pacotes e dimensões máximas de (c) 600 mm × (l) 600 mm × (h) 600 mm (NBR 16229, 2013). Sendo geradas com apoios de prensa empacotadeiras::

PACH – Pacote de Chaparia; PAEB – Pacote de Estamparia Branca; PAEP – Pacote de Estamparia Preta

**Figura 3.13 - Pacotes/Blocos compactados sucatas**



Fonte: Central Comércio de Sucata (c2012)

- Peças Isoladas

As sucatas que se enquadram nesse grupo são conforme a norma:

ESBS – Estamparia Branca Solta:

Sucata de aço-carbono comum, solta e com revestimento metálico, pintura, esmaltação composta de retalhos provenientes de processos de estampagem, sendo também provenientes de embalagens de alimentos feitas de aço (NBR 16229, 2013).

**Figura 3.14 - Estamparia**



Fonte: Recykloo (c2022)

ESPS – Estamparia Preta Solta:

Sucata comum de aço carbono, a granel e sem revestimentos metálicos, tintas ou esmaltes, incluindo cortes de estampagem, principalmente da indústria automobilística e de sucatas de automóveis (NBR 16229, 2013).

**Figura 3.15 – Estamparia preta peças veiculares**



Fonte: Enoita (2021)

FOFO – Ferro Fundido:

Sucata proveniente do ferro fundido.

**Figura 3.16 - Ferro Fundido**



Fonte: Segaferr (c2022)

GRAU – Graúda:

Obtida a partir da obsolescência de máquinas, equipamentos, bens de consumo ou diretamente de processos industriais, como tratores, tanques, grandes estruturas, chapas, vigas, tubos e perfis, composta por uma ou mais peças (NBR 16229, 2013).

**Figura 3.17 - Sucata Graúda**



Fonte: Seletiva (2016)

MISM – Mista Miúda:

Sucata de aço de várias composições químicas, com ou sem revestimento metálico, por ex. restos de tubos, mandíbulas, molas, parafusos, autopeças, miúdos (NBR 16229, 2013).

**Figura 3.18 - Sucata Miúda**



Fonte: Seletiva (2016)

MISS – Mista

Em geral, esta é de sucata obsoleta, solta, consiste em bens de consumo e materiais que foram descartados ao final de sua vida útil, por exemplo, veículos (para-lamas, cabines, cestos, portas), eletrodomésticos em geral (fogões, geladeiras, máquina de lavar), latas, tambores e bicicletas (NBR 16229, 2013).

**Figura 3.19 - Sucata Mista**



Fonte: Seletiva (2016)

OXIC - Oxicortada

Sucata de aço-carbono pesada, geralmente obtida a partir de processos de oxicorte e corte mecânico.

**Figura 3.20 - Sucata oxicorte**



Fonte: Seletiva (2016)

### 3.11.2. Disposição final sucata metálica

A sucata metálica, se não incluída na produção de aço, pode causar poluição e contaminação ambiental devido ao manuseio inadequado: Acúmulo de mananciais, locais de acondicionamento de vetores de doenças, além de possível contaminação por metais pesados ou outros poluentes que possam levar à poluição ambiental (RODRIGUES,2023). Em seu estudo, a autora procurou evidenciar a contaminação de áreas locais com sucata metálica de alumínio, não ferrosa. No estudo foram encontrados diversos materiais abandonados em lotes vagos que foram utilizados na produção do alumínio reciclado, conforme a Figura 3.21.

**Figura 3.21 - Sucata Alumínio**



Fonte: Rodrigues (2023)

### 3.11.3. Impurezas

Impurezas é um termo que é utilizado nas siderúrgicas que refere a contaminantes presentes no aço. O principal impacto do uso da sucata metálica é a quantidade de impurezas contidas nela. As impurezas são a coleta de todos os componentes metálicos não ferrosos presentes na sucata podem ser classificadas em intrínsecas e extrínsecas (NASCIMENTO, 2008).

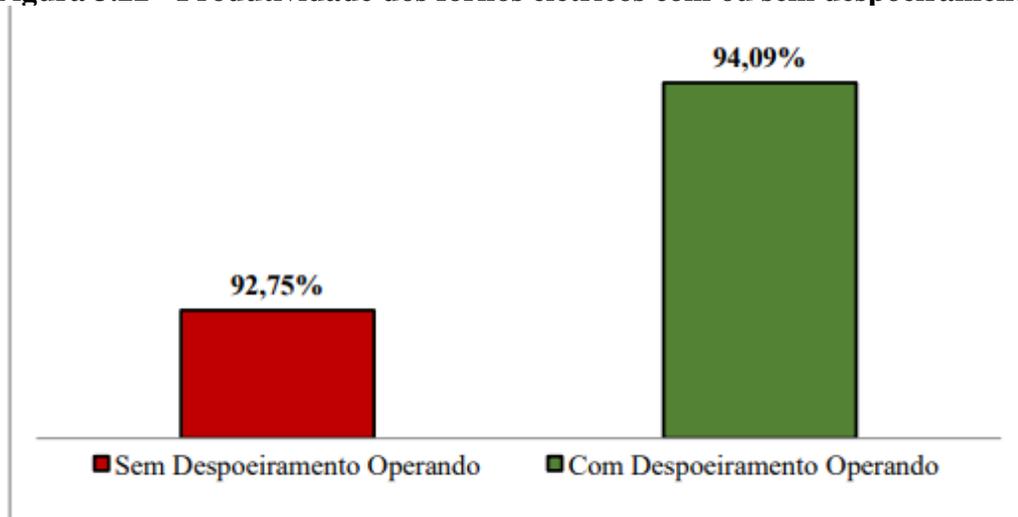
As impurezas extrínsecas são as que não estão na composição química da sucata. Por exemplo outros materiais impregnados na sucata como, papéis, terras, sendo facilmente detectadas no visual. O nível de impurezas presentes na sucata de aço, sejam elas intrínsecas ou extrínsecas, é um dos fatores que afeta diretamente o rendimento do metal na produção do aço e pode afetar o desempenho do processo de fundição se essas impurezas não forem devidamente removidas durante o processamento da sucata, aumentando custo com energia

elétrica e outros efeitos em cascatas. Nascimento (2008) elenca problemas gerados por um elevado nível de impurezas recebidas:

- Diminuição da capacidade de armazenamento da sucata metálica, devido a presença de impurezas modificando o volume real;
- Aumento do custo com o tratamento da terra e outros rejeitos a serem tratados.

Alves (2016) em seu estudo apresentou que o resultado dos empoeiramentos para o rendimento metálico dos fornos elétricos com e sem o processo de despoeiramento, que retira impurezas extrínsecas. Deste modo, em consoante com Nascimento (2008) a Figura 3.22 demonstra um ganho percentual de quase 2%, aumentando assim a redução do custo final do aço, diminuindo as impurezas, aumentando o quantitativo de material metálico.

**Figura 3.22 - Produtividade dos fornos elétricos com ou sem despoeiramento**



Fonte: Alves (2016)

### 3.12 Shredder

Um dos principais equipamentos utilizados para realizar o tratamento dessas impurezas, são os trituradores. Um desses modelos é chamado de *Shredder*, comumente utilizado nas industriais siderúrgicas e usada de comparativo nos estudos de Alves (2016). A *shredder* é um equipamento inventado por Alton Newell, na década de 1960, sendo seu objetivo a limpeza e separação das impurezas, e comumente utilizado em veículos em fim de vida, conforme Figura 3.23. O princípio básico do equipamento é triturar e separar os resíduos

Magnético para obter apenas sucata de ferro (ALVES, 2016). Deste modo o equipamento é muito útil para o tratamento da sucata mista, que vem de diferentes composições e tratamentos, contendo as mais diversas impurezas (BATISTA, 2014).

**Figura 3.23 - Esquema shredder**



Fonte: Reciclyng Times (2007)

Além de sua aplicação na reciclagem de automóveis, também é utilizado no tratamento de lixo eletrônico, incluindo computadores e celulares. Ao quebrar esses dispositivos em componentes menores, facilita a extração de materiais valiosos. Além do mais, pode ser usado na gestão dos resíduos sólidos urbanos, reduzindo seu volume e preparando-os para reciclagem ou descarte adequado, mas avaliando o custo, anteriormente (BATISTA, 2014).

### **3.13 Oxicorte**

Outra atividade de processamento de sucata metálica é chamada de oxicorte. De acordo com Nascif e Costa (2015), o processo é uma técnica termal utilizada na indústria metalúrgica e siderúrgica para realizar cortes em materiais metálicos. Esse processo envolve a utilização de oxigênio e um gás combustível, que são direcionados para o material a ser cortado, gerando calor e fusão.

Na reciclagem de sucata metálica, é usado como uma técnica essencial para a fragmentação de peças graúdas. Segundo Carneiro (2018), o oxicorte é amplamente utilizado como uma alternativa viável para a separação dos diferentes tipos de materiais contidos na sucata. Essa técnica é capaz de cortar peças com grandes espessuras e com geometrias diversas, tornando-se uma das mais utilizadas para a fragmentação de peças.

O processo de oxicorte de sucata metálica exige cuidados especiais e conhecimentos técnicos, tanto no manuseio dos equipamentos quanto na proteção ambiental e segurança do trabalho. Conforme destacado por Ribeiro et al. (2019), é fundamental adotar medidas preventivas, como o uso de equipamentos de proteção individual e o correto descarte de resíduos gerados no processo, a fim de minimizar os riscos e garantir a saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos.

### **3.14 Sucata metálica automotiva**

A sucata metálica automotiva é um dos tipos de resíduos gerados em processos de fim de vida, sendo usualmente classificada como ELV – *End Life Vehicles* ou Automóveis em Fim de Vida, AFV, atribuído ao termo sucata metálica, sendo os veículos que não apresentam condições para sua utilização, sendo assim passíveis de estarem sendo destinados a reciclagem. Outro momento, ocorre quando se desprende de erros de processo produtivo de indústrias automotivas.

A reciclagem de veículos é praticada quase sistematicamente no grande continente, e os veículos danificados são devolvidos sob condições de depreciação total, de modo que não são econômicas para reparar. Cada região possui diferentes normas e leis que caracterizam a condição de um veículo em fim de vida, mas todos os países possuem um conjunto mínimo de regulamentações exigidas para permitir este veículo. um -processo de reciclagem (CASTRO, 2012).

No Brasil, existem mais de 20 artigos por determinar a destinação de veículos em final de final para a reciclagem, sendo maiores detalhes pautados na Lei 12.977, de 2014, que apresenta itens referente a atividade de desmontagem desses. No artigo legal foi é pautado a criação de um banco de dados nacional de informações sobre desmonte de veículos e

atividades realizadas, no qual as peças ou conjuntos de peças usadas serão registrados para reposição e peças para sucata ou outro destino.

A Resolução Federal Contran nº 611 de maio 2016, que regulamenta as leis de desmonte e estabelece certificação e diretrizes operacionais Centro de desmantelamento de veículos automotores, necessário para a implantação da reciclagem de automóveis no Brasil. Todavia com os incentivos federais, cabe aos estados disciplinar as instruções e credenciar tais atividades.

Em Minas Gerais, destaca-se no site do Detran-MG a Lei do Desmonte, que é composta 4 instrumentos legais que regem a atividade. No quadro, estão apresentadas algumas legislações estaduais do Sudeste: As impurezas intrínsecas são aquelas que, como próprio nome já relata, é a que está inerente ao material, como: ferrugem, pinturas e até elementos de liga.

**Quadro 3.1 - Principais legislações da região sudeste**

ESTADO	LEI	TEXTO LEI
SP	Lei nº 15.276, de 02 de janeiro de 2014	Dispõe sobre a destinação de veículos automotores apreendidos, removidos, depositados ou abandonados na forma que especifica
	Lei nº 16.286, de 18 de julho de 2016	Dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil e dá outras providências

RJ	Portaria Detran-RJ nº 6295 de 19 de setembro de 2019	Dispõe sobre o credenciamento e o funcionamento de empresas nos ramos da desmontagem, reciclagem, e comercialização de partes e peças de veículos automotores terrestres no Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências.
MG	Portaria do Detran-MG nº 397 de 14 de junho de 2017.	Dispõe sobre o credenciamento e o funcionamento de empresas nos ramos da desmontagem, reciclagem, e comercialização de partes e peças de veículos automotores terrestres no Estado de Minas Gerais.
	Resolução do Contran nº 611, de 24 de maio de 2016	Regulamenta a Lei nº 12.977, de 20 de maio de 2014, que regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos

Fonte: O autor (2023)

### 3.15 Automóvel

Desde a sua criação, o automóvel trouxe imensas vantagens para as sociedades. Estas vantagens incluem a facilitação do transporte, tanto de mercadorias como de pessoas, a redução do tempo de viagem, a comodidade geral do transporte, entre outras. No entanto, apesar desses benefícios, à medida que as cidades cresciam e o número de veículos aumentava, vários efeitos prejudiciais e externalidades negativas começaram a surgir. Os mais conhecidos e visíveis entre a população são o congestionamento do trânsito e a poluição do ar. No que se refere à legislação brasileira relativa à regulamentação da emissão de poluentes por veículos automotores, destaca-se o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) (SOUZA,2018).

Segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – Sindipeças atualmente, a frota circulante brasileira de veículos, em 2021 foi de cerca de 60 milhões de unidades, sendo desses 39 milhões de automóveis. Ainda de acordo com o anuário, essas unidades estão concentradas em cerca de 65%, nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, nesta ordem de circulação.

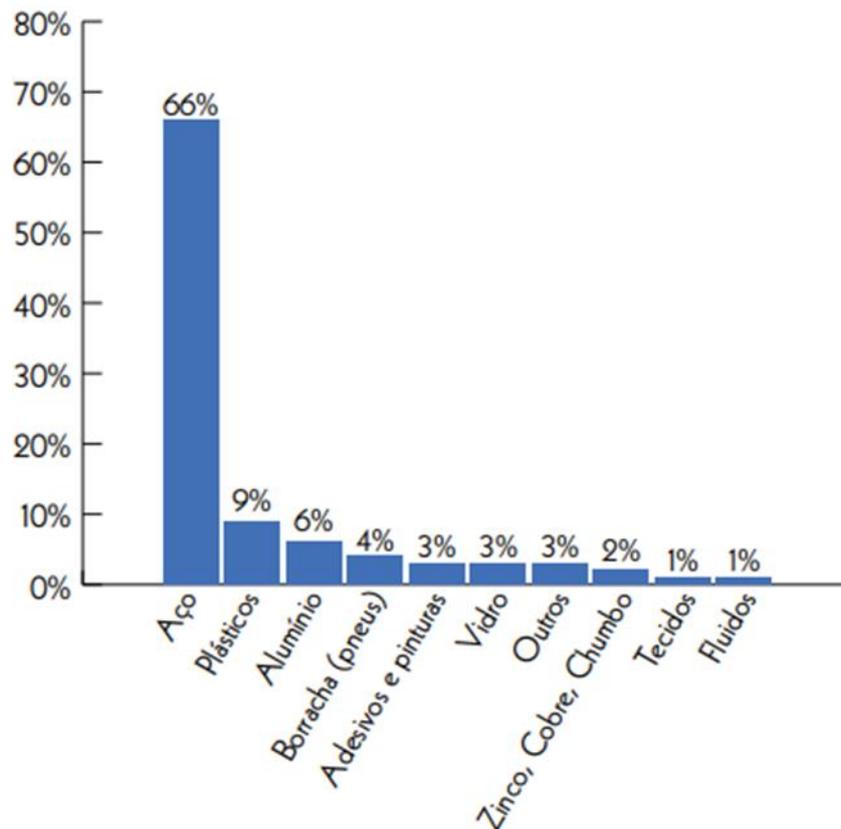
Em paralelo, a idade média desses veículos é estimada em 8 anos, em 2021. De modo, a idade dos veículos, o cerca de 19% com idade média acima de 16 anos(SINDIPEÇAS, 2021). Deste modo, o estudo do Sindipeças, detectou quase 9 milhões de unidades de veículos com idade acima de 16 anos, independentemente de sua condição.

### **3.16 Desmonte automotivo**

Desmonte ou a destinação de veículos conforme Brasil (2014), é pautada na retirada das partes dos veículos, sua destinação para reposição, sucata ou outra destinação, ambientalmente adequada (BRASIL, 2014).

Castro (2012) dedicou seu estudo para acompanhar a reciclagem automotiva no cenário Brasileiro e mundial. A composição de um veículo varia em torno de 15000 peças, sendo em sua maioria, praticamente 80% metais. A composição dos veículos varia muito em função da idade, modelo, tecnologia e do fabricante do veículo. A Figura 3.24 trata do percentual associado de cada componente.

**Figura 3.24 - Composição média dos materiais presentes nos veículos novos.**  
 Composição média dos materiais  
 presentes nos veículos novos (peso)



Fonte: Castro (2012)

De um modo geral, a proporção de metal pode variar entre 65% e 75% do peso do veículo, enquanto a proporção de plástico fica entre 7% e 10%. A tendência futura no design de veículos ainda é reduzir o peso para diminuir o consumo de combustíveis fósseis (CASTRO, 2012).

A separação desses componentes é descrita pelo autor como cinco etapas principais:

1. Recepção dos veículos a serem reciclados (ELV's)
2. Desmontagem dos ELV's
3. Classificação dos componentes desmontados dos ELV's

#### 4. Fragmentação dos ELV's

#### 5. Reciclagem dos materiais fragmentados de ELV'

Para os demais resíduos e componentes da estrutura veicular são realizados os devidos tratamentos e recomendados a destinação ambientalmente correta, conforme instruído na Política Nacional do Meio Ambiente. Dentre esses componentes destacam-se resíduos perigosos, como óleos lubrificantes e fluídos, mas também o vidro, que assim como o metal é infinitamente reciclável (CASTRO, 2012). Conforme, legislação da Lei do Desmonte, cabe ao empresário ou empresas cadastradas nesse processo, buscar a destinação adequada de cada componente extraídos dos ELV.

Segundo a NBR 10.004(2004), resíduos perigosos são aqueles que possuem propriedades como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Esses resíduos requerem uma gestão específica devido ao seu potencial de causar danos ao meio ambiente e à saúde das pessoas.

Em apoio a reciclagem automotiva, a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, dispõe da Cartilha de Destinação de Materiais Veiculares. Neste informativo, tem-se como objetivo introduzir a prática da destinação ambientalmente correta dos diversos resíduos provenientes dos veículos em fim de vida. No documento são complementados e detalhados, além de citar as 5 etapas da reciclagem como apresentado por Castro (2012), procedimentos para a execução e implementação efetiva para os Centros de Reciclagem Veiculares (CRV).

Os centros de reciclagem de veículos são um aspecto essencial do processo de processamento de veículos em fim de vida. Um Centro de Reciclagem Veiculares (CRV) será responsável por receber os veículos em fim de vida, processá-los e desmontá-los para garantir que todos os seus materiais tenham uma destinação ambientalmente segura e economicamente vantajosa (AEA, 2020). Passos (2013) resumiu em seu estudo, os principais materiais presentes nesses veículos e seus impactos ambientais potenciais, no Quadro 3.2 - Principais materiais presentes nesses veículos e seus impactos.

**Quadro 3.2 - Principais materiais presentes nesses veículos e seus impactos**

<b>Material</b>	<b>Impactos ambientais potenciais da disposição inadequada</b>	<b>Comentários</b>	<b>Classe</b>
Metais em geral	Desperdício de recursos não- renováveis, proliferação de vetores urbanos e ocupação de espaço em aterros	Material responsável por mais de 65% do peso. Pode ser reciclado indefinidamente com baixo custo e alta eficiência	II
Plásticos	Desperdício de recursos não- renováveis, proliferação de vetores urbanos e ocupação de espaço em aterros	Torna o carro mais leve e reduz consumo de combustível. Diversificação dificulta reciclagem. Plásticos reciclados, perdem qualidade reprocessado se normalmente são destinados a usos menos exigentes que a produção automobilística.	II
Borrachas	Desperdício de recursos não- renováveis, proliferação de vetores urbanos e ocupação de espaço em aterros	A maioria das peças de borracha contém metais de reforço. Tecnologias de reciclagem estão disponíveis. Pneus - disposição conforme regulamentação específica	II
Espumas, Tecidos, Carpetes e Forrações	Desperdício de recursos não renováveis, proliferação de vetores	Podem ser submetidos à reciclagem energética Lã de e lã de vidro utilizados no isolamento são de difícil reciclagem.	II
Vidros	Desperdício de recursos não-Os renováveis, proliferação de vetores urbanos e ocupação de espaço ano aterras	para-brisas são produzidos com um "sanduíche" formado por duas lâminas de vidro e uma de plástico, que dificulta sua reciclagem. Há uma tendência de que outros do veículo passem a utilizar a mesma tecnologia	II
Baterias	Contaminação por chumbo e por ácido	Disposição conforme regulamentação específica	I
Componentes Eletroeletrônicos	Contaminação por metais pesados e contém dioxinas	Cobre, prata, ouro, e outros metais de alto valor. Alguns circuitos contém mercúrio e chumbo.	I / II

Catalisador	Contaminação por metais pesados. Desperdício de recursos não dos renováveis (metais nobres como platina)	Existe um mercado estabelecido para a recuperação metais nobres.	I
Componentes pirotécnicos	Contaminação por metais pesados. Desperdício de recursos não colocar renováveis (metais nobres como platina)	Devem ser retirados dos veículos e detonados para não em risco a segurança das pessoas.	I
Lubrificantes & Combustíveis	Contaminação de solo e água por óleo	Disposição conforme regulamentação específica	I

Fonte: Adaptado de Passos (2013)

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Área de Estudo**

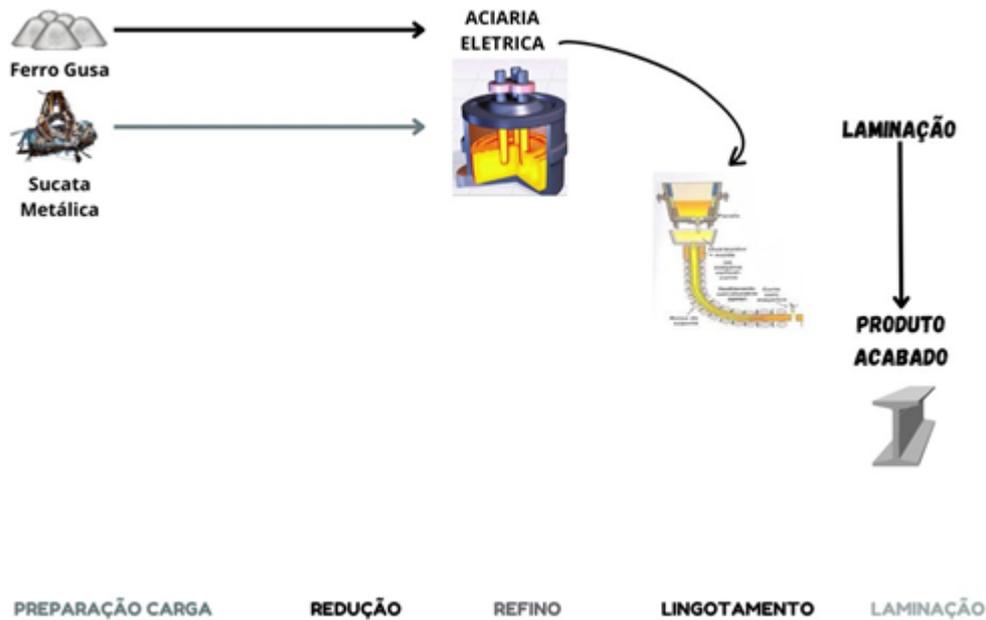
A área de estudo foi delimitada em na indústria siderúrgica e de uma unidade de recepção temporária de resíduos localizadas na região sudeste do Brasil. A unidade intermediária realiza sua operação com coleta de sucata e recepção de fornecedores em um raio de 100 km. De modo que diversos sucateiros e empresas fazem a destinação dos seus resíduos metálicos. A capacidade de recepção anual pode movimentar cerca de 10 mil toneladas mês, contando recebimento e destinação. A planta industrial, também localizada em Minas Gerais, tem como sua recepção os insumos de sucata metálica para a produção do aço, via rota semi-integrada, além de outras matérias primas como o ferro gusa e o minério de ferro.

### **4.2 Obtenção dos Dados Primários**

Os principais dados são de uma grande empresa do setor siderúrgico da região sudeste do Brasil e da principal unidade de recebimento de sucata da mesma localidade.

As informações fornecidas são provenientes de da planta siderúrgica, que utiliza do mecanismo de produção semi-integrada, alimentada pela recepção de sucata metálica do entreposto. Para produzir aço bruto, a planta passa por duas etapas fundamentais: a redução em alto-forno e o refino primário no forno elétrico a arco.

### **Figura 4.1 - Produção Usina Semi-integrada**



Fonte: Adaptado de Aço Brasil (2022)

Com base em análises comparativas com a literatura, essa planta pode ser classificada como semi-integrada, uma vez que utiliza sucata como um dos principais insumos e o forno elétrico a arco. Deste modo, foi feito o levantamento do quantitativo de sucata metálica do setor automotivo para a produção e seus critérios de escolha na produção do aço bruto.

Os dados referentes a sucata metálica e sua qualidade foram extraídos da unidade intermediária denominada de entreposto. No entreposto é realizada a recepção de sucata metálica das mais diferentes categorias. Foi verificado a presença das sucatas do setor automobilístico e suas características para avaliação da inserção em categorias preestabelecidas.

A avaliação da sucata metálica na recepção da unidade foi declarada avaliando em qual categoria a sucata automobilística estava sendo recepcionada pela unidade, visto que pode ser proveniente de diferentes fontes, seja de fim de vida, como erros de produção em indústrias do ramo. Para o trabalho buscou-se admitir a adoção da sucata metálica classificada como Estamparia Preta Solta, proveniente de carcaças de veículos de empresas do ramo e também peças destes provenientes do processo de estampagem.

### 4.3 Obtenção dos Dados Secundários

O presente estudo buscou avaliar uma revisão da literatura para trabalhos desenvolvidos na área da sucata automobilística. Para a realização da revisão bibliográfica foram consultadas base de dados de artigos científicos como encontrados em ferramentas como o *Google Acadêmico*, a fim de coletar informações relevantes sobre a reciclagem automotiva na produção do aço, utilizando palavras-chaves em inglês e português. A pesquisa teve na identificação de autores que abrangiam informações sobre a reciclagem automotiva, seja por veículos em fim de vida ou até o uso da sucata de estamparia proveniente da indústria automotiva, principalmente de carcaças de automóveis.

### 4.4 Avaliação de cenários

#### 4.4.1. *Sucata metálica estamparia*

Para a avaliação de cenários foi admitindo o uso de uma classificação de sucata como dito anteriormente, a estamparia preta. Nesta classificação estão presentes peças e materiais provenientes de veículos, como carcaças, estampos e placas de conformação e demais outras provenientes principalmente de indústria automotiva, como carros de teste e peças contendo erros de processo.

Para a produção do aço, utiliza-se a “panela”, como é chamada na planta industrial. Neste recipiente, como visto no referencial teórico, é onde são feitos o mix da carga metálica, com sucata metálica e uso de outros insumos. A carga metálica é composta por ferro gusa líquido e sucata metálicas, sendo 81% e 19%, respectivamente.

Assim, para a produção de 1 tonelada de aço na usina utiliza-se cerca de 1,1 toneladas de carga metálica para a produção de uma tonelada de aço líquido, conforme informações da planta industrial.

Desta maneira, a capacidade da panela conforme consultado pela planta industrial é no máximo de 209kg de sucata, 19%, podendo ser de todas as classificações possíveis, a depender do tipo de aço a ser demandado. Como a sucata de estamparia detém uma baixa densidade (1,2 g/cm<sup>3</sup>) não é possível utilizar 100% no mix metálico em conformidade

apresentado no estudo de Silva (2011), sendo utilizada sucata de retorno do próprio processo de aciaria, como aços que tiveram erros estruturais ou não conformidade, como complemento das porcentagens.

Deste modo, na análise considerou-se a quantidade desse tipo de sucata para produção de 1 kg de aço bruto, bem como o custo necessário para processamento de sucata metálica de modo geral na **Equação 4.1**.

#### **Equação 4.1**

$$C_i = Q_i \times P_i + C_{p_i} \times Q_i \quad (4.1)$$

Em que:

$C_i$  = Custo com uso de sucata metálica do tipo  $i$  no processo de produção de 1t de aço bruto, em reais.

$Q_i$  = Quantidade demanda de sucata do tipo  $i$  no mix metálico, em quilos.

$P_i$  = Preço de mercado para aquisição da sucata metálica do tipo  $i$ , R\$ por kg.

$C_{p_i}$  = Custo processamento da sucata da sucata metálica do tipo  $i$ . R\$ por kg.

$i$  = sucata metálica, sendo Estamparia e Graúda

Com isso, adotou-se cenários com valor limite de 80% de uso da estamparia e outros 20% de uso da sucata de retorno, e assim proporcionalmente, totalizando cerca de 167 kg.

- Cenário 1: Uso de 20% de sucata de estamparia no mix metálico. Representando cerca de 41,8 kg de estamparia.
- Cenário 2: Uso de 50% de sucata de estamparia no mix metálico. Representando cerca de 104,5 kg de estamparia.
- Cenário 3: Uso de 60% de sucata de estamparia no mix metálico. Representando cerca de 125,4 kg de estamparia.

- Cenário 4: Uso de 80% de sucata de estamparia no mix metálico. Representando cerca de 167,2 kg de estamparia.

A sucata de estamparia é internamente denominada de pronto uso, ou seja, uma sucata metálica que não requer nenhum tipo de processamento para eliminação de impurezas ou diminuição dos seus tamanhos para a carga metálica. Desse modo, a equação acima, para o elemento Cpi, será zerado para a estamparia.

De modo geral, a equação pode ser utilizada, verificando o custo de processamento da sucata metálica, seja por oxicorte, shredder ou corte, atribuindo valor ao Cpi

#### 4.4.2. *Sucata metálica graúda*

A sucata metálica ferrosa graúda é um tipo de material que se diferencia dos demais tipos de sucata metálica devido às suas dimensões que, geralmente, são acima de 500 mm ou até mesmo acima de 1 m, dependendo da demanda do mercado e dos processos de produção de aço (LOPES, 2020). Esse tipo de sucata é composto por fragmentos de metal ferroso de grande porte, tais como vigas, chapas e barras, e pode ser proveniente de diversos setores, como construção civil, indústria naval e mineração.

Deste modo, a avaliação do cenário condiz com a inserção do custo de processamento do oxicorte. Em geral, é comum que o custo do serviço de oxicorte seja cobrado por hora trabalhada ou por metro linear cortado, com preços médios a partir de R\$ 100,00 por hora trabalhada ou R\$ 5,00 a R\$ 10,00 por metro linear cortado (GOMES, 2016; SANTOS, 2019). Todavia, em pesquisas diretas com empresas de serviços foi informado que a atividade de oxicorte gera em peso, também, em torno de R\$ 2,00 a R\$ 3,00 por kg, assim utilizado esses valores para definição de cenários

Como referência dos estudos de Varela (2018) as sucatas de estamparia e a graúda tem densidades diferentes. Em geral, a sucata de estamparia possui uma densidade média de 1,2 a 1,5 g/cm<sup>3</sup>, enquanto a sucata graúda pode apresentar densidade média mais elevada, variando de 1,5 a 2,5 g/cm<sup>3</sup>, devido ao seu maior volume de metal em relação à sucata de estamparia (VARELA, 2018). Deste modo, adotou-se que a composição máxima do mix metálico de graúda para 90%, e 10% de sucata de retorno, no quantitativo do mix metálico como valor limite de 188 kg, conforme verificado com a planta.

Com isso, a verificação para a adoção de cenários:

- Cenário 5: Uso de 20% de sucata graúda no mix metálico. Representando cerca de 41,8 kg de sucata graúda.
- Cenário 6: Uso de 50% de sucata graúda no mix metálico. Representando cerca de 104,5kg de sucata graúda.
- Cenário 7: Uso de 60% de sucata graúda no mix metálico. Representando cerca de 125,4 kg de sucata graúda.
- Cenário 8: Uso de 90% de sucata graúda no mix metálico. Representando cerca de 188,1kg de sucata graúda.

A utilização do Cenário 8 considerou aproximadamente 90% dos resíduos pesados como avaliadores. Assim, foi avaliado como reagiriam os cenários relacionados ao custo e valor da sucata caso fosse utilizada sucata mais pesada, 10% a mais do que o limite para estampagem preta. Portanto, pode-se verificar se o aumento do peso da mistura de sucata pesada afeta as vantagens do uso da estampagem no processo de produção do aço.

Para estimar os custos de processamento, considera-se como referência o preço médio oferecido pelos prestadores de serviços (3 reais o quilo). Além disso, são utilizadas as dimensões comumente utilizadas da unidade: 1 metro de comprimento e 406 mm de diâmetro por tonelada. Como exemplo na Figura 4.2

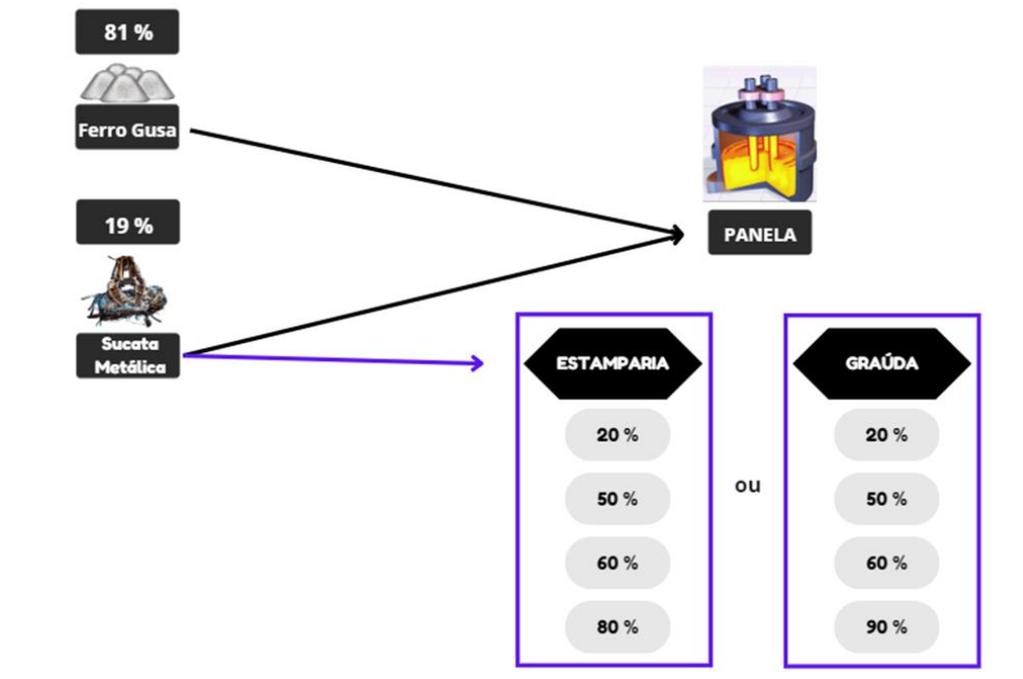
**Figura 4.2 - Sucata Graúda**



Fonte: G1 (2020)

De modo geral, a metodologia dos cenários se resumiu conforme Figura 4.3.

**Figura 4.3 – Resumo dos cenários aplicados**



Fonte: O autor (2023)

#### 4.5 Preço médio de mercado

A sucata metálica ferrosa é um material que pode ter um preço bastante variável no mercado, dependendo de diversos fatores, como qualidade, tipo, local e época da negociação, demanda e das condições econômicas global. Em geral, o preço da sucata ferrosa é cotado por peso, podendo variar entre R\$ 0,50 e R\$ 2,00 por quilo. De acordo com a revista Pense Mais, em abril de 2023, o preço médio da sucata ferrosa estava em torno de R\$ 1,20, o quilo (PENSE MAIS, 2023).

Portanto, foi estabelecida para os cenários uma diferenciação de valores para os dois tipos de sucata, levando em conta o estado de prontidão para uso. Assim, enquanto a sucata de estamparia não requer nenhum processamento adicional, resultando em um custo de compra mais elevado, adotando o valor de 2 reais por quilograma, a sucata metálica graúda demanda processamento e, conseqüentemente, é avaliada em 1 real por quilograma.

#### 4.6 Modelagem de incertezas

Para compilado das variáveis envolvidas no estudo, utilizou-se simulações utilizando o Microsoft Excel e o Método de Monte Carlo. A simulação de Monte Carlo é uma técnica estatística amplamente utilizada em diversas áreas como finanças, engenharia e planejamento de projetos (REIS, 2023). Segundo o autor, essa técnica é baseada em amostragem aleatória repetida e visa avaliar resultados em situações complexas e incertas. Portanto, utilizando a Simulação de Monte Carlo, é possível modelar cenários com base em dados estatísticos e realizar análises de sensibilidade para entender melhor o funcionamento do sistema em estudo. A técnica de Simulação de Monte Carlo foi adotada como complemento às informações estudadas, a fim de avaliar diferentes possibilidades diante da variação nos envios de tipos de sucata metálica. Para realizar esse cálculo, foram analisadas as expedições de sucata metálica ao longo de um período de dois anos, levando em consideração tanto o menor quanto o maior valor enviado em quilogramas. No processo, foram consideradas as variáveis mencionadas anteriormente nos cenários discutidos no tópico 4.4.

Para o estudo adotou-se então elaboração de simulações no qual relaciona todas as variáveis com limites superior e inferior. A seguir estão descritos os parâmetros considerados.

- Preço da sucata metálica: o evento foi calculado com limite inferior de 0,5 reais (50 centavos), já como limite superior de 2 reais, ambos por quilo. Dados coletados de informações dos dados primários.
- Preço de processamento por oxicorte: com limite inferior de 2 reais e limite superior de 3 reais, ambos por quilo. Dados obtidos com empresas de mercado.
- Porcentagem de presença no mix metálico para sucata estamparia: Conforme verificado anteriormente com limite inferior de 10% e limite superior de 80%.
- Porcentagem de presença no mix metálico para sucata graúda: Conforme verificado anteriormente com limite inferior de 10% e limite superior de 90%.
- Fornecimento de sucata estamparia para a usina: o limite inferior adotado como o menor valor de quilogramas enviado para a usina no processamento do aço e como limite superior o maior valor expedido.
- Fornecimento de sucata graúda, o limite inferior adotado como o menor valor de quilogramas enviado para a usina no processamento do aço e como limite superior o maior valor expedido

Os valores utilizados estão descritos na Tabela 4-1.

**Tabela 4-1 – Limites utilizados**

PREÇO SUCATA METÁLICA (R\$/kg)		EXPORTADO ESTAMPARIA (kg)		EXPORTADO GRAÚDA (kg)			
MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO		MÁXIMO	
0,5	2	490.000	1.100.000	8.400.000		12.500.000	
PREÇO OXICORTE (R\$/kg)		MIX METÁLICO ESTAMPARIA (%)		CARGA METÁLICA (kg)		MIX METÁLICO GRAUDA (%)	
MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
2	3	0,1	0,8	209	209	0,1	0,9

Fonte: O autor (2023)

Para gerar valores randômicos dentro dos limites mínimo e máximo das variáveis mencionadas anteriormente, utilizou-se a Equação 4.2.

$$\text{Valeatorio.} = V_{mi.} + [(V_{ma.} - V_{mi.}) \times f(\text{ALEATORIOENTRE}())]$$

(4.2)

- Valeatorio. = variável com valor randômico gerado;
- $V_{mín}$  = valor mínimo que cada variável pode atingir, conforme descrito para cada variável;
- $V_{máx.}$  = valor máximo que cada variável pode atingir, conforme descrito para cada variável
- $f(\text{ALEATORIOENTRE}())$  = Recurso da Biblioteca do planilhas do Microsoft Excel; esta função gera valores aleatórios, neste caso entre valores máximos e mínimos predefinidos.

A planilha foi dimensionada com cerca de 1000 cenários variando de forma aleatória entre os limites inferiores e superiores da planilha. Com esses dados ficou verificado em quais situações a sucata de estamparia tornou-se mais vantajosa do que a graúda. Fixou-se o valor

da carga metálica máxima de sucata metálica com peso de 209 kg, conforme verificado nos cenários anteriores. Desse modo, para avaliar o quantitativo da carga metálica no cenário utilizou-se da Equação 4.3.

- Carga Metálica Estamparia Preta ou Graúda:

(4.3)

$$CM = MAT \times CARG$$

- CM = Carga metálica, kg.
- MAT = Presença de sucata metálica no mix, resultado da geração aleatória da Porcentagem de presença no mix metálico – com limites inferiores de 0,1 a 0,8 para estamparia e 0,1 a 0,9 para graúda (kg/kg).
- CARG = Carga metálica presente na panela – fixo de 209 quilogramas valor máximo que cada variável pode atingir, conforme descrito para cada variável

Para analisar os custos presentes na panela para a produção aço considerou-se a Equação 4.4.

- Custo da carga metálica estamparia preta ou graúda:

4.4

$$CCM = CM \times PRECOS$$

- CCM = Custo Carga metálica, R\$.
- CM = Custo Carga Metálica, kg.
- PRECOS = Resultado da geração aleatória de valores do Preço da sucata metálica, R\$/kg.

Para analisar os cenários de custo de cada sucata replicou-se a Equação 4.1 na planilha Excel.

A análise dos resultados para determinar a vantagem relativa de cada tipo de sucata, em comparação com a Equação 4.4, foi conduzida levando em consideração informações específicas. Caso o custo de uma sucata no mix metálico fosse superior ao da outra, ela foi considerada menos vantajosa. Em todos os 1000 cenários avaliados, verificou-se em quais situações a sucata de estamparia apresentou um custo mais baixo, resultando em um menor Custo na Carga Metálica, e vice-versa.

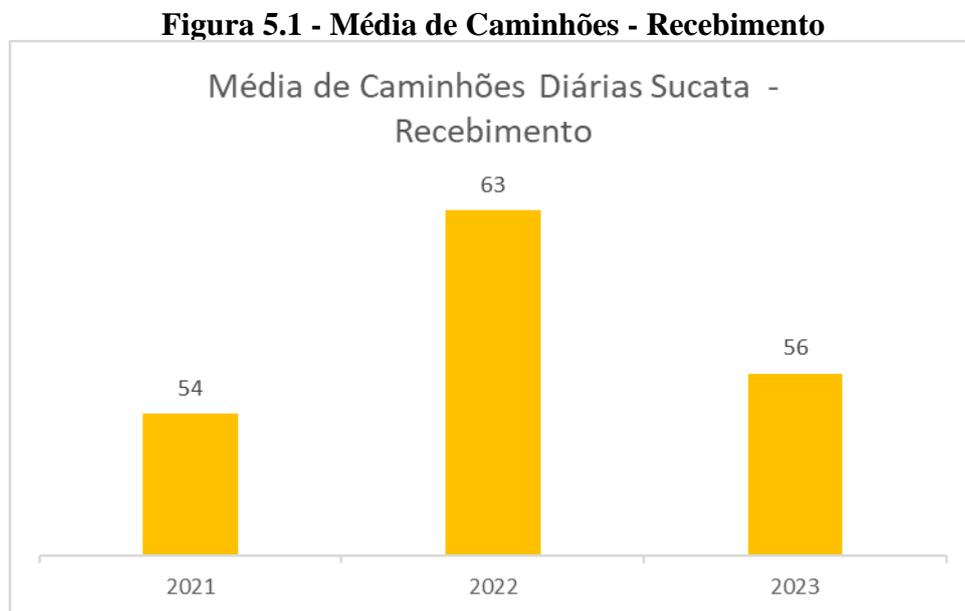
#### *4.6.1. Determinação da confiabilidade*

A fim de determinar a confiabilidade e identificar os cenários em que a sucata de estamperia foi mais vantajosa, foram realizados 10 eventos de randomização entre as 1000 possibilidades. Em cada evento, registrou-se o número de casos em que a sucata de estamperia e a sucata graúda foram consideradas mais vantajosas. Com base nesses resultados, calculou-se a confiabilidade, que é a proporção entre o número de eventos em que a sucata de estamperia foi considerada mais vantajosa e o total de eventos, que é igual a 1000.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Avaliação dos dados primários

Os dados consolidados dos recebimentos de sucata metálica na unidade estudada revelaram que, em média, cerca de 54 caminhões de sucata metálica são recebidos diariamente. Esses recebimentos englobam todas as classificações de sucata metálica, incluindo aquelas estudadas anteriormente. A Figura 5.1 apresenta uma análise dos recebimentos de cada unidade, demonstrando que os recebimentos provêm de diversos sucateiros localizados na região sudeste do país.

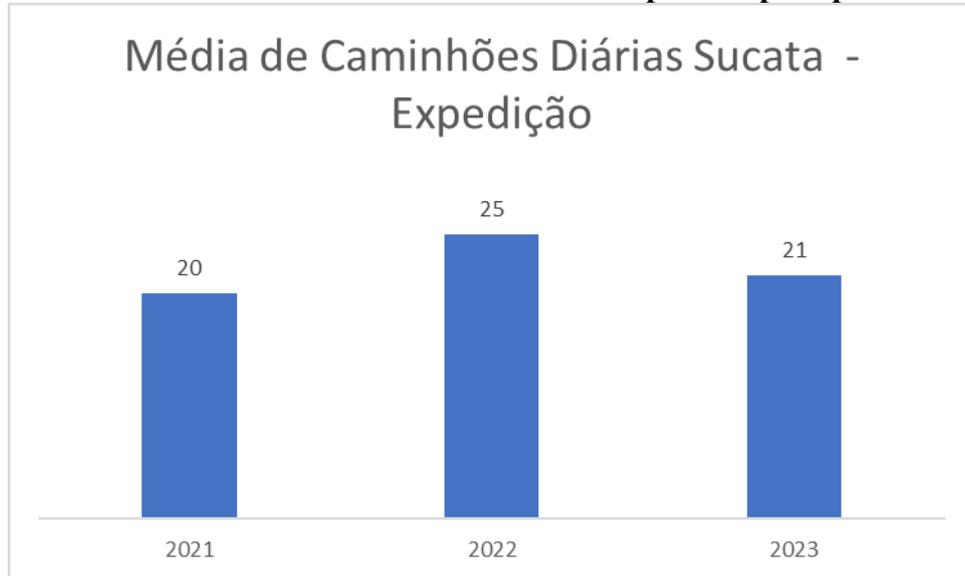


Fonte: O autor (2023)

Ao analisar os valores para 2023, focamos nos dados de recebimentos mensais de sucata. Importa realçar que estes meses foram marcados pelas restrições de confinamento e pelas preocupações relacionadas com a pandemia de Covid-19, que acentua os desafios dos períodos de recessão. Várias fontes sugerem que a pandemia teve um impacto negativo na cadeia de resíduos de ferro e aço do Brasil, causando uma forte contração do setor (Sicetel-ABIMETAL, 2021). As medidas restritivas do governo e o fechamento de setores não essenciais afetaram pequenos lixões, dificultando a coleta dos catadores. O setor de reciclagem, porém, se adaptou às condições e buscou no mercado externo uma alternativa para negociar quantidades excedentes. Além disso, vale ressaltar que o transporte de sucata

é direcionado para usinas siderúrgicas industriais. Além disso, obteve-se informações sobre o número de veículos, caminhões, expedidos para as plantas industriais, ou seja, o envio de sucata metálica para a usina. A Figura 5.2 apresenta as informações mencionadas:

**Figura 5.2 - Média de Caminhões diária de sucata expedidas para planta industrial**



Fonte: O autor (2023)

Analisando esta imagem, é possível confirmar os dados previamente processados de 2021. Com isso, pode-se observar que os carregamentos diários de sucata nos nós temporários de recebimento de resíduos são mostrados em média. Esses embarques são destinados às plantas industriais onde são processados de acordo com o fluxo de produção de aço semi-integrado.

Durante esse período, também foi realizado um levantamento do quantitativo em toneladas das sucatas metálicas estudadas. Os tipos de material investigados neste trabalho são a sucata estampada preta, indicada pela sigla ESPS, e a sucata graúda, indicada pela sigla GRAUDA. Essas informações completam o entendimento dos dados e ajudam a analisar a situação de forma mais abrangente. A Tabela 5-1 representa o quantitativo recebido nas unidades nos anos verificados.

**Tabela 5-1 - Peso total enviado a planta industrial por ano**

Material	Peso total expedido (ton) / ano		
	2021	2022	2023
ESBS	490	1.100	300
GRAUDA	8.400	12.500	4.241

Fonte: O autor (2023)

É evidente que muitas são as variáveis que têm influência nos valores em peso expedidos para as usinas. Entre as principais está a determinação do programa de produção da planta industrial, ou seja, a quantidade solicitada para um determinado material. Além disso, o estoque de recebimento da unidade intermediária de sucata também desempenha um papel importante nesse processo.

Além desses fatores, a densidade do material e, principalmente, a disponibilidade no mercado são considerações essenciais. No caso específico das sucatas classificadas como ESBS, elas são provenientes principalmente da indústria automotiva, a qual tem enfrentado quedas frequentes na produção, conforme relatado por MENDES(2023).

Conforme a matéria "Produção de carros tem queda de 18% em abril, aponta Anfavea" publicada no site da CNN Brasil, a produção de veículos no Brasil registrou uma redução de 18% no mês de abril. A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea) atribui essa queda ao agravamento da pandemia de COVID-19 e à escassez de insumos, afetando o ritmo das fábricas MENDES (2023).

Esses fatores externos impactam diretamente a disponibilidade e a quantidade de sucatas metálicas expedidas para as usinas, influenciando assim os valores em peso durante o período estudado.

## **5.2 Avaliação dos dados secundários**

No campo científico, existem estudos que abordam a utilização e reciclagem de automóveis no final de sua vida útil, abrangendo a gestão de resíduos de forma geral. De acordo com informações de empresas especializadas em reciclagem automotiva, que oferecem serviços de descaracterização e gestão de resíduos, é comum enviar os materiais metálicos para

unidades de triagem e transbordo, como a estudada. Isso ocorre devido às diferenças nas modalidades e na gestão das licenças operacionais.

Por exemplo, em consulta à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), no estado de São Paulo, a atividade de reciclagem de veículos em fim de vida é realizada por meio de um Parecer Técnico emitido pela agência, conforme ilustrado **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Já para atividades de gestão e gerenciamento de resíduos, são necessários outros trâmites, como a abertura de um processo convencional de licença prévia, instalação e operação, além da obtenção de documentos ambientais para garantir o armazenamento adequado desses resíduos, especialmente quando se trata de produtos perigosos da classe I – como citado na Quadro 3.2 - Principais materiais presentes nesses veículos e seus impactos, citando combustível, óleos e graxas, catalisadores, motores, entre outros.

Esses procedimentos diferenciados refletem a complexidade e as normas regulatórias envolvidas na gestão e reciclagem de automóveis em fim de vida útil, destacando a importância de licenças específicas e práticas adequadas para garantir a segurança ambiental e o cumprimento das regulamentações vigentes.

**Figura 5.3 - Consulta realizada a CETESB parte 1**

Segue orientação ao assunto:

Licenciamento Unificado – Procedimentos Específicos

Parecer Técnico de empresas estabelecidas no ramo de desmontagem de veículos em fim de vida útil e comercialização de respectivas partes e peças ou para empresas recicladoras de veículos totalmente irrecuperáveis (Lei Estadual 15.276/14 e Decreto Estadual 60.150/2014)

De acordo com o Artigo 2º da Lei Estadual 15.276/14, as empresas estabelecidas no ramo de “desmontagem de veículos e de comercialização das respectivas partes e peças” e as empresas estabelecidas no ramo de “reciclagem de veículos totalmente irrecuperáveis ou de materiais não suscetíveis de reutilização, descartados no processo de desmontagem de veículos”, terão, obrigatoriamente, que solicitar credenciamento no DETRAN-SP.

De acordo com o artigo 9º do Decreto Estadual 60.150/14, para obter o

Fonte: O autor (2023)

### Figura 5.4 - Consulta realizada a CETESB parte 1

De acordo com o Artigo 2º da Lei Estadual 15.276/14, as empresas estabelecidas no ramo de "desmontagem de veículos e de comercialização das respectivas partes e peças" e as empresas estabelecidas no ramo de "reciclagem de veículos totalmente irrecuperáveis ou de materiais não suscetíveis de reutilização, descartados no processo de desmontagem de veículos", terão, obrigatoriamente, que solicitar credenciamento no DETRAN-SP.

De acordo com o artigo 9º do Decreto Estadual 60.150/14, para obter o credenciamento acima citado, os empreendimentos deverão obter a manifestação favorável da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB quanto ao atendimento da legislação ambiental. Para isso, ficou definido que a manifestação se dará pela emissão de Parecer Técnico.

Fonte: O autor (2023)

Vale ressaltar que os veículos, quando reciclados, podem ser classificados tanto como sucata mista quanto como sucata de estamparia, dependendo da forma como são enviados para as unidades de reciclagem.

No caso de obsolescência dos veículos, eles são gerenciados como sucata mista na unidade. No entanto, devido às limitações do estudo, a sucata mista engloba uma variedade de materiais de obsolescência. Por outro lado, a sucata de estamparia consiste em veículos com defeitos de produção diretamente relacionados à indústria automotiva. É importante ressaltar que, na área de estudo em questão, o armazenamento de sucata de estamparia é misturado apenas com estampas de pesos maiores, o que sugere que pelo menos 60% da sucata metálica de estamparia, em peso, seja proveniente de carcaças de veículos na linha de produção. Essa conclusão está em conformidade com o estudo de Ribeiro (2018), que aborda a logística reversa da sucata metálica na indústria automobilística e destaca os ganhos obtidos com a revenda desse tipo de resíduo.

Além disso, de acordo com Ribeiro (2018), no contexto da estamparia, são identificados vários pontos de descarte de resíduos, que podem ser categorizados como ineficiências do processo e ineficiências do produto. Nesse sentido, dados do Aço Brasil revelam que mais de 18% dos resíduos metálicos provêm da indústria automotiva. Essas informações ressaltam a importância de uma abordagem integrada e sustentável para a gestão da sucata metálica, visando minimizar desperdícios e promover a reciclagem eficiente dos materiais, conforme Quadro 5.1

**Quadro 5.1 - Dados encontrados em outros autores**

<b>Autor</b>	<b>Título do Artigo</b>	<b>País</b>	<b>Ano de Publicação</b>	<b>Resultados Encontrados</b>	<b>Conclusão</b>
Silva	A Logística Reversa de Embalagens na Indústria Automobilística	Brasil	2019	A importância da logística reversa e da reciclagem de embalagens na indústria automotiva.	A implementação efetiva da logística reversa de embalagens pode trazer benefícios econômicos, ambientais e sociais para a indústria automobilística.
Ribeiro e Albani	Logística Reversa de Resíduos de Aço no Processo de Estamparia em uma Indústria Automotiva	Brasil	2020	A relevância da gestão adequada dos resíduos de aço na sustentabilidade ambiental e econômica do setor.	A adoção de práticas de reciclagem e gestão eficientes pode reduzir impactos ambientais e gerar ganhos econômicos na indústria automotiva.
Chen, Xi e Yang	Sustainability Evaluation of End-of-Life Vehicle Recycling in China	China	2018	Benefícios ambientais e econômicos da reciclagem de veículos no final de sua vida útil.	A reciclagem de veículos no final de sua vida útil é uma estratégia sustentável que contribui para a redução de resíduos e a conservação de recursos na China.

Fonte: O autor (2023)

### 5.3 Cenários

#### 5.3.1. Sucata Estamparia

No primeiro cenário, considera-se a estamparia e o objetivo é determinar o custo associado à sua inclusão no mix metálico. Vale ressaltar que o peso máximo de sucata permitido no mix metálico para produzir 1 tonelada de aço foi de 188 kg. Em cada cenário, utilizou-se um valor percentual para representar a proporção de sucata de estamparia, complementado pela sucata de retorno do processo interno da aciaria da planta industrial. O custo relacionado a essa inclusão no mix metálico foi calculado considerando esses parâmetros.

**Tabela 5-2 - Cenários utilizando sucata de estamparia**

Cenário	Sucata	Preço Sucata (por Kg)	Preço Processamento (por Kg)	Porcentagem no Mix Metálico (kg/kg)	Peso da sucata no Mix (Kg)	Custo no Mix Metálico para produzir 1 tonelada aço
1	Estamparia branca	R\$ 2,00	R\$ -	20%	41,6	R\$ 83,20
2		R\$ 2,00	R\$ -	50%	104	R\$ 208,00
3		R\$ 2,00	R\$ -	60%	124,8	R\$ 249,60
4		R\$ 2,00	R\$ -	80%	166,4	R\$ 332,80

Fonte: O autor (2023)

Ao fixar o valor de 2 reais por quilograma para a sucata de estamparia e considerar o custo de processamento zerado, podemos observar que essa sucata é altamente valorizada devido à sua pureza. A variância destes preços sucata por quilograma foi avaliado por meio do próximo tópico.

Ela é considerada uma sucata nobre devido à sua qualidade superior. Essa característica pode explicar o fato de que a quantidade adquirida pela unidade intermediária é menor em comparação com a sucata graúda, que provém de materiais obsoletos. A sucata de estamparia é selecionada de forma mais criteriosa e possui uma concorrência maior no mercado devido à sua alta qualidade.

### 5.3.2. Sucata Graúda

A sucata graúda recebida nas unidades intermediárias provém principalmente da obsolescência de grandes materiais, como estruturas. Essa categoria de sucata metálica é composta por peças e componentes de maior porte, provenientes de demolições, desmontagens ou descarte de estruturas industriais, construções e equipamentos. Devido ao seu tamanho e peso, a sucata graúda requer processos específicos de manejo, transporte e processamento. Os resultados encontrados encontram-se discriminados na Tabela 5-3 abaixo:

**Tabela 5-3 - Cenários utilizando sucata graúda**

Cenário	Sucata	Preço Sucata (por Kg)	Preço Processamento (por Kg)	Porcentagem no Mix Metálico (kg/kg)	Peso da sucata no Mix (Kg)	Custo no Mix Metálico para produzir 1 tonelada aço
5	Graúda	R\$ 1,00	R\$ 3,00	20%	41,6	R\$ 166,40
6		R\$ 1,00	R\$ 3,00	50%	104	R\$ 416,00
7		R\$ 1,00	R\$ 3,00	60%	124,8	R\$ 499,20
8		R\$ 1,00	R\$ 3,00	90%	187,2	R\$ 748,80

Fonte: O autor (2023)

Conforme evidenciado na tabela, os resultados obtidos refletem os custos adicionais do processamento das peças, necessários para realização do corte antes de sua inclusão no mix metálico. Esses custos são principalmente atribuídos às dimensões das peças nessa categoria de classificação. As margens de valores variaram entre 160 reais e 748 reais.

Ao comparar os oito cenários, é possível perceber que, em termos de fornecimento, a sucata de estamparia, apesar de apresentar valores mais elevados do que a sucata graúda, resultou em um custo de produção menor, mesmo mantendo um percentual igual para sua quantidade no mix metálico. Portanto, o custo de processamento do material se sobressai, especialmente nos casos em que é necessário, acrescentando valores mais altos ao custo de produção.

É importante notar que a sucata graúda, proveniente da obsolescência de estruturas, pode conter diversos contaminantes, como a corrosão. Portanto, mesmo que haja maior disponibilidade dessa sucata em comparação à sucata de estamparia, é necessário realizar

estudos para determinar a necessidade de adição de outros insumos, a fim de evitar que os contaminantes ou impurezas afetem a qualidade do aço final, quando comparado aos valores da sucata de estamparia.

#### 5.4 Modelagem dos resultados

A avaliação de múltiplos cenários e possibilidades foi realizada utilizando um modelo matemático para modelagem das incertezas com auxílio do Microsoft Excel. Em um primeiro teste, randomizou-se a planilha e encontrou-se 944 cenários em que a sucata graúda apresentou maior custo para produção do aço. Na **Apêndice A** estão apresentados os 25 primeiros cenários realizados.

**Tabela 5-4 – Cenários avaliando custos das sucatas**

	SUCATA GRAÚDA MAIS CARA	ESTAMPARIA GRAÚDA MAIS CARA
Nº CASOS	944	56

Fonte: O autor (2023)

Em um dos casos como este é refletido na tabela a seguir:

**Tabela 5-5 – Simulação aplicada**

Número da simulação	1
<b>Preço da sucata</b>	<b>R\$ 0,62</b>
Enviado Estamparia para a produção aço (kg)	1.052.301,13
Enviado Graúda para a produção aço (kg)	9.147.283,86
<b>Preço do oxicorte (R\$/kg)</b>	<b>R\$ 2,72</b>
Percentual de Estamparia na Panela	45%
Carga metálica de Estamparia na Panela (kg)	93,20
<b>Custo da carga metálica de Estamparia</b>	<b>R\$ 57,51</b>
Percentual de Graúda na Panela	50%
Carga metálica de Graúda na Panela (kg)	103,68
<b>Custo da carga metálica de Graúda</b>	<b>R\$ 345,62</b>

Fonte: O autor (2023)

Nesse modelo e em diversos outros cenários, foi observado que a sucata de estamparia apresentou um custo menor na produção de aço na panela. É importante ressaltar que o preço do oxicorte atingiu o valor de R\$ 2,72, e a proporção de sucata graúda e de estamparia no mix metálico foi de 50% e 45%, respectivamente. Mesmo com um percentual maior de presença no mix metálico, a sucata de estamparia demonstrou ser mais vantajosa em termos de custo.

Além disso, ao analisar os limites inferiores e superiores dos dados de envio da sucata, foi possível observar a vantagem da sucata de estamparia, mesmo sendo quase nove vezes menor em quantidade do que a sucata graúda. Esses resultados ressaltam a importância de considerar não apenas a quantidade, mas também o custo envolvido no processamento da sucata, ao tomar decisões sobre a seleção da sucata mais vantajosa para o mix metálico

Para casos com a sucata graúda com preço mais em conta trata-se de cenários como o da Tabela 5-6:

**Tabela 5-6 - Simulação graúda mais vantagem**

Número da simulação	149
<b>Preço da sucata</b>	<b>R\$ 0,61</b>
Enviado Estamparia para a produção aço (kg)	1.080.405,78
Enviado Graúda para a produção aço (kg)	11.598.769,65
<b>Preço do oxicorte (R\$/kg)</b>	<b>R\$ 2,83</b>
Percentual de Estamparia na Panela	75%
Carga metálica de Estamparia na Panela (kg)	155,82
<b>Custo da carga metálica de Estamparia</b>	<b>R\$ 94,68</b>
Percentual de Graúda na Panela	11%
Carga metálica de Graúda na Panela (kg)	22,76
<b>Custo da carga metálica de Graúda</b>	<b>R\$ 78,21</b>

Fonte: O autor (2023)

Na simulação acima, foi constatado que a sucata graúda teve um custo menor na produção de aço na panela. O preço do oxicorte alcançou o valor de R\$ 2,83, e a composição do mix metálico foi de 11% de sucata graúda e 75% de sucata de estamparia.

Esses resultados revelam a vantagem econômica da utilização da sucata graúda nesse contexto. Com um custo mais baixo e uma proporção significativa no mix metálico, a sucata graúda se mostrou uma opção mais favorável para a produção de aço na panela.

Assim observa-se que o percentual na presença da panela/mix metálico na graúda foi um dos fatores primordiais para que a esta se tornasse mais barata que a estamparia, sendo assim uma variável de extrema importância inferindo-se que para caso de preços iguais, a vantagem do uso da sucata metálica graúda é bem reduzida, do que o uso da sucata metálica de estamparia, principalmente por conta da necessidade de processamento desta, sendo uma estratégia de mercado, como visto nos tópicos anteriores, a diferenciação de preços, embutindo os custos deste.

A precificação do produto atende a várias funções importantes, como cobrir os custos de produção, comunicar a imagem corporativa e gerenciar os termos do contrato. No entanto, é comum que as empresas cometam erros ao estabelecer preços baseados apenas em custos e margens, ou que alterem constantemente seus processos de precificação para se adaptarem às mudanças nos cenários econômicos (KOTLER; KELLER 2012).

Por meio disso, os resultados mostram uma tendência consistente em que a sucata graúda, devido à sua natureza e características específicas, tende a ter um custo de processamento e produção mais altos em relação à sucata de estamparia. Isso pode ser atribuído à necessidade de lidar com impurezas, contaminantes e maiores despesas de processamento associadas a peças de maior dimensão. Por outro lado, a sucata de estamparia, apesar de apresentar valores mais elevados em alguns casos específicos, geralmente possui um custo de produção mais baixo devido à sua pureza e menor necessidade de processamento.

**Tabela 5-7 - Análise da confiabilidade dos cenários**

<b>Cenário</b>	<b>n° de eventos que a Estamparia foi mais barata</b>	<b>n° de eventos totais</b>	<b>Confiabilidade</b>
1	956	1000	<b>0,956</b>
2	938	1000	<b>0,938</b>
3	903	1000	<b>0,903</b>
4	928	1000	<b>0,928</b>
5	928	1000	<b>0,928</b>
6	921	1000	<b>0,921</b>
7	915	1000	<b>0,915</b>
8	925	1000	<b>0,925</b>
9	919	1000	<b>0,919</b>
10	927	1000	<b>0,927</b>

Fonte: O autor (2023)

**Tabela 5-8 – Análise Desvio Padrão e Variância**

Mínimo	0,903
Máximo	0,956
Média	0,926
Desvio Padrão	0,014055446
Variância	<b>0,000197556</b>

Fonte: O autor (2023)

É interessante observar que a confiabilidade dos dados atingiu um valor próximo a 90%, o que indica que os resultados obtidos nas simulações foram consistentes e não apresentaram uma grande variação entre os cenários analisados. Isso sugere que, mesmo considerando a variabilidade no preço da sucata, a eficiência do uso da sucata de estamparia se mostrou mais vantajosa em termos de custo e produção de aço.

A baixa variância nos sistemas também é um indicativo de que os resultados foram estáveis e não houve grandes flutuações nas vantagens observadas para a sucata de estamparia em relação à sucata graúda. Isso fortalece a conclusão de que, em uma ampla gama de cenários, a sucata de estamparia é uma opção mais eficiente para ser utilizada no mix metálico.

Esses resultados também esforçam a importância de considerar a sucata de estamparia como uma alternativa viável e econômica na produção de aço, mesmo levando em conta a variabilidade dos preços da sucata. A planta industrial deve realizar uma avaliação abrangente, considerando diversos fatores adicionais. Por exemplo, pode ser necessário obter um aço com melhor qualidade ou características específicas que só podem ser alcançadas com a sucata de estamparia. Além disso, a utilização da sucata de estamparia pode resultar em menor consumo de outros insumos e influenciar o preço do frete. Todas essas considerações estão relacionadas às diferenças de qualidade entre as duas sucatas.

Portanto, é fundamental que a planta industrial avalie cuidadosamente todos os aspectos relevantes antes de decidir qual tipo de sucata utilizar. Embora o custo seja certamente um aspecto crucial, ele não pode ser avaliado isoladamente. Para garantir a criação de aço de alta qualidade, isso deve ser considerado juntamente com outros fatores críticos, como eficiência de recursos e viabilidade econômica.

Outro fator intrínseco é a necessidade da retirada das impurezas e o desempenho metálico, a diminuição do uso de processamento e a entrega de uma sucata de maior qualidade, como o caso da estamparia, atravessa vantagens no ganho metálico do produto final. Alves (2016) conclui justamente esse ponto, em que seu trabalho foi avaliado o rendimento metálico na produção do aço, quando comparando uma sucata metálica com e sem processamento das impurezas, observando um aumento de cerca de 2%, refletindo também na diminuição do consumo de insumos, e outros aditivos na produção do aço. A redução do consumo desses insumos é um fato primordial também para o desempenho ambiental (FERREIRA,2021).

Os pontos principais para continuidade do abastecimento da sucata advindas de veículos, como a estamparia perante a sucata graúda, além da redução do processamento destas, reflete também no potencial abastecimento consistente dessa fonte de matéria-prima, sendo por sua maioria proveniente da própria indústria automotiva corroborando com estudo de Ribeiro (2021), sendo estudado a oportunidade da geração constante de rebarbas, estampos e carcaças de veículos.

Outro ponto, é que em específico para a sucata de carcaças de veículos possui alta qualidade, com uma concentração maior de aço de alta qualidade em comparação com outras formas de

sucata e isso pode resultar em produtos finais de aço com melhor desempenho, minimizando custos com operações de limpeza nas plantas industriais, como o *shredder*. No entanto, é importante considerar também flutuações no mercado automotivo podem impactar a disponibilidade de sucata de estamparia, para sucatas de melhor qualidade, além da diminuição de aquisição de fim de vida, sendo assim, por fim, a viabilidade econômica do uso da sucata de carcaças de veículos pode ser afetada pelos custos e eficiência dos processos de reciclagem necessários.

## 6 CONCLUSÕES

A utilização da sucata de estamparia, proveniente da indústria automotiva, apresentou vantagem em comparação à sucata graúda, devido aos custos mais baixos envolvidos na produção de aço. A sucata de estamparia é caracterizada por sua alta qualidade e pureza, dispensando a necessidade de processamento adicional ao contrário da sucata graúda. Diversas simulações realizadas confirmaram a vantagem mesmo em diferentes cenários e variações de preço e quantitativo em uso para produção do aço.

A literatura especializada enfatiza o incentivo ao uso da sucata automotiva, especialmente de veículos em fim de vida. No entanto, neste estudo, houve uma limitação em relação a essa categoria, uma vez que a unidade de estudo não recebe esse tipo específico de sucata metálica. No entanto, é um mercado com potencial para a reciclagem do aço, principalmente considerando a categoria de veículos em fim de vida.

Portanto, foi comprovada a viabilidade da utilização da sucata de estamparia proveniente da indústria automotiva em termos de reciclagem do aço, quando comparada à sucata graúda. Além disso, outros estudos já destacaram os benefícios ambientais e econômicos proporcionados pelo uso da sucata metálica em substituição aos insumos tradicionais, como o ferro gusa e o minério de ferro.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Durante a pesquisa identificou-se uma limitação nos estudos realizados em relação ao mapeamento direto apenas das carcaças automotivas, o que indica uma necessidade de complemento para pesquisas futuras. Recomenda-se uma segregação mais específica da sucata automotiva, considerando a origem da indústria automotiva e dos veículos em fim de vida. Sugerem-se estudos que se concentrem exclusivamente na relação de produção e consumo de carros, como uma análise de ciclo de vida do aço.

Além disso, não foram encontrados estudos que relacionem os tipos de sucata e sua classificação em uma unidade de triagem e transbordo de sucata, o que limita a comparação e discussão dos resultados. Portanto, recomenda-se a realização de estudos nessa área para preencher essa lacuna.

## 8 REFERÊNCIAS

**ABNT. NBR [16229]:** Sucata de ferro fundido e aço. Primeira Edição, 2013. Disponível em: <<https://www.target.com.br/maquina.aspx?pp=16&c=43200>>. Acesso em: 20 setembro de 2022.

**ABNT. NBR [1004]:** Resíduos sólidos – Classificação. Segunda Edição, 2004. Disponível em: <<https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 03 julho de 2023.

**ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil 2021.** 2022 Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 20 setembro de 2022.

**AÇO BRASIL. Anuário Aço Brasil 2022.** 2022. Disponível em: <<https://acobrasil.org.br/site/publicacao/anuario-aco-brasil-2022/>>. Acesso em 09 de setembro de 2022.

**AÇOS NOBRE. Elementos de liga: a influência dos elementos químicos no aço.** Disponível em: <<https://acosnobre.com.br/blog/elementos-de-liga-no-aco/>>. Acesso em 21 de novembro de 2022

**AEA, Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. Cartilha destinação final.** 2020. Disponível em: <<https://aea.org.br/inicio/wpcontent/uploads/2020/12/CartilhaDestinacaoFinalAEA.pdf>>. Acesso em 20 novembro de 2022.

**ALVES, Pedro Cunha. Análise do rendimento metálico do FEA devido ao uso do sistema de despoejamento do shredder.** 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/156011>>. Acesso em 15 junho de 2023.

**ANDRADE, Maria Lúcia Amarante de et al. Mercado mundial de sucata.** 2000. Disponível em <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15181/1/Mercado%20Mundial%20de%20Sucata\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15181/1/Mercado%20Mundial%20de%20Sucata_P_BD.pdf)>. Acesso em 22 de novembro de 2022

**AZEVEDO, Juliana Laboissière. A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa.** In: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015. Disponível em: <[https://www.academia.edu/download/55007154/Juliana\\_Laboissiere\\_de\\_Azevedo\\_ARTIGO\\_CNEG\\_2015\\_1.pdf](https://www.academia.edu/download/55007154/Juliana_Laboissiere_de_Azevedo_ARTIGO_CNEG_2015_1.pdf)>. Acesso em 20 de setembro de 2022.

**BATISTA, Daniella Cristina. Classificação e caracterização dos resíduos do beneficiamento da sucata de ferro e aço utilizada no processo siderúrgico para identificação da viabilidade de aplicações.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18122014-100431/en.php>>. Acesso em 20 novembro de 2022.

BRASIL, Decreto Nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. **Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.**, Brasília.2022. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>>. Acesso em 28 setembro de 2022.

BRASIL, **Lei Nº 12.977**, de 20 de maio de 2014. Regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres; altera o art. 126 da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro; e dá outras providências. Brasília, 2014. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-014/2014/lei/112977.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-014/2014/lei/112977.htm)>. Acesso em 28 setembro de 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.440**, de 2 de setembro de 2022. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14440-2-setembro-2022-793185-norma-pl.html>. Acesso em 21 de novembro de 2022.

CARNEIRO, F. S. S. **Análise da aplicação do oxicorte na fragmentação de peças de sucata metálica.** In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, 2018. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2018/pdf/COBEM2018-1284.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; MESQUITA, Pedro Paulo Dias; MELO, Luciane Paiva d'Ávila. **Siderurgia**. 2016. Disponível em: < [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/7210/2/Siderurgia\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/7210/2/Siderurgia_P.pdf)>. Acesso em 23 setembro de 2022.

CASTRO, D. E. **Reciclagem e sustentabilidade na indústria automobilística**. 1. ed. Belo Horizonte: Rona Editora, 2012. Disponível em:< <https://www.estantevirtual.com.br/livros/daniel-e-castro/reciclagem-e-sustentabilidade-na-industria-automobilistica/2523981726>>. Acesso em 20 novembro de 2022.

CENTRAL COMÉRCIO DE SUCATA. Ltda. Produtos - **Compra e Venda de todo o tipo de Sucata. Obsolescência Industrial** :c2012 disponível:< <://www.centraisucata.com.br/produtos.html>>. Acesso em 22 novembro de 2022.

CSN.Companhia Siderúrgica Nacional. **Glossário Técnico**. 2022 Disponível em: < <https://ri.csn.com.br/glossario-tecnico/>>. Acesso em 20 setembro de 2022.

Chen, Yisong & Ding, Zhensen & Liu, Jiahui & Ma, Jinqiu. (2019). **Life cycle assessment of end-of-life vehicle recycling in China: a comparative study of environmental burden and benefit.** *International Journal of Environmental Studies*. 76. 1-22. 10.1080/00207233.2019.1618670. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/333222473\\_Life\\_cycle\\_assessment\\_of\\_end-of-life\\_vehicle\\_recycling\\_in\\_China\\_a\\_comparative\\_study\\_of\\_environmental\\_burden\\_and\\_benefit](https://www.researchgate.net/publication/333222473_Life_cycle_assessment_of_end-of-life_vehicle_recycling_in_China_a_comparative_study_of_environmental_burden_and_benefit)>. Acesso em 10 junho de 2023.

DE OLIVEIRA MARQUES, João Gabriel; CASTRO, Daniel Enrique. **O PROCESSO DE RECICLAGEM VEICULAR E OS BENEFÍCIOS GLOBAIS DA UTILIZAÇÃO DE SUCATAS METÁLICAS PARA A PRODUÇÃO DE AÇO.** Disponível em: <<https://scholar.archive.org/work/rfnrlf6ijbfavcy3eoiwxjt7ju/access/wayback/https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/download-pdf/o-processo-de-reciclagem-veicular-e-os-beneficios-globais-da-utilizacao-de-sucatas-metalicas-para-a-producao-de-aco>>. Acesso em 03 julho de 2023.

DE PAULA, Germano Mendes. **Produção Independente de Ferro-Gusa (“Guseiros”). Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono:** Ribeirão Preto, Brasil, 2014. Disponível em: <[http://www.comexresponde.gov.br/portalmdic/arquivos/dwnl\\_1423738671.pdf](http://www.comexresponde.gov.br/portalmdic/arquivos/dwnl_1423738671.pdf)>. Acesso em 24 setembro de 2022.

DETRAN-MG. **Solicitar baixa de veículo.** 2022. Disponível em: <<https://www.detrان.mg.gov.br/veiculos/alteracoes/solicitar-baixa-de-veiculo>>. Acesso em 22 novembro de 2022b.

DETRAN-MG. Portaria DETRAN Nº 92 DE 12/02/2021. **Dispõe sobre o credenciamento de pessoas jurídicas que exercem a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres, reciclagem, recuperação e/ou a comercialização das partes e peças provenientes da desmontagem, no Estado de Minas Gerais.** Minas Gerais. 2021. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=409429>>. Acesso em 01 outubro de 2022.  
>. Acesso em 01 outubro de 2022.

ENOSHITA, Evandro. **Falta de peças é principal risco atual para a indústria, aponta Anfavea. Carros IG,** [S. l.], p. 1-1, 5 mar. 2021. Disponível em: <https://carros.ig.com.br/2021-03-05/falta-de-pecas-e-principal-risco-atual-para-a-industria-aponta-anfavea.html>. Acesso em: 14 jun. 2023.

FELLET, João. **Na China, aço é tão importante quanto arroz e feijão no Brasil, diz diretor da Vale.** **BBC.** 2011. Disponível em: <[https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/04/110404\\_vale\\_china\\_jf](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/04/110404_vale_china_jf)>. Acesso em 21 de novembro de 2022.

FERRAZ, Henrique. **O aço na construção civil. Revista eletrônica de ciências.** São Paulo, n. 22, 2003. Disponível em: <[https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/437\\_a\\_relevancia\\_do\\_uso\\_do\\_aco\\_na\\_construcao\\_civil.pdf](https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/437_a_relevancia_do_uso_do_aco_na_construcao_civil.pdf)>. Acesso em 21 de novembro de 2022

FERREIRA, Gabriella Gontijo Lopes. **Avaliação dos benefícios econômicos e ambientais da utilização de sucata metálica em indústria siderúrgica.** 2021. 85f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte,

2021. Disponível em: <https://www.eng-ambiental.bh.cefetmg.br/tccs-de-2021/>>. Acesso em 16 junho de 2023.

GAC. Grupo Aço Cearense. **Conheça os principais tipos de aço e suas aplicações**. 2017. Disponível em: < <https://www.grupoacocearense.com.br/blog/vender-mais/principais-tipos-de-aco/>>. Acesso em 24 setembro de 2022.

G1. **Cerca de 50 toneladas de tubos de aço são apreendidas**. 2020. Disponível em:< <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2020/03/04/cerca-de-50-toneladas-de-tubos-de-aco-sao-apreendidos-em-sucata-e-dupla-e-presas-na-grande-fortaleza.ghtml>>. Acesso em 05 de junho de 2023.

GOMES, Fabio Marcelo Rocha. **Reciclagem de aço no Brasil proveniente de veículos sucateados**. 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/VRNS-9NBGQQ>>. Acesso em 11 setembro de 2022.

IFSC. **Melhorando as propriedades dos aços**. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. Disponível em: <[https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/7d/Aula\\_06.pdf](https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/7d/Aula_06.pdf)>. Acesso em 21 novembro de 2022.

INFASUL. **SIDERURGIA: o que é, como o aço é produzido e cortado?**.2022. Disponível em: < <https://infasul.com.br/siderurgia/>>. Acesso em 24 setembro de 2022.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: sustentabilidade e competitividade**. Saraiva Educação SA, 2017. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang\\_pt&id=8WmwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=leite+log%C3%ADstica&ots=UjLdhX7upP&sig=NCVt7CNbWGvvU7VF25jnN2xDXBc](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=8WmwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=leite+log%C3%ADstica&ots=UjLdhX7upP&sig=NCVt7CNbWGvvU7VF25jnN2xDXBc)>. Acesso em 17 setembro de 2022.

LOPES, L. M. A. **Estudo comparativo de misturas de sucata de ferro fundido com diferentes dimensões para produção de ferro gusa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://monografias.ufrj.br/monografias/12270010.pdf>. Acesso em: 30 abril de 2023.

KOTLER, Philip; KELLER, Kevin L. **Administração de Marketing**. 14ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012. Disponível em: < <https://www.bvirtual.com.br/NossoAcervo/Publicacao/309>>. Acesso em 10 junho de 2023

MENDES, Diego. **Produção de carros tem queda de 18% em abril, aponta Anfavea**. CNN Brasil, [S. l.], p. 1-1, 8 maio 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/producao-de-carros-tem-queda-de-18-em-abril-aponta-anfavea/>. Acesso em: 15 jun. 2023

MME. Ministério de Minas e Energia. **Estudo da reciclagem de metais no país**. 2009. Disponível em: < [http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/450079/P57\\_RT83\\_Reciclagem\\_de\\_Metais\\_no](http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/450079/P57_RT83_Reciclagem_de_Metais_no)

\_P axs.pdf/2c11b09c-fa95-cf3d-2699-5a2efc59cb5b?version=1.0>. Acesso em 16 setembro de 2022

MONFERRATO. **Conheça a reciclagem do aço.** 2022. Disponível em: <<https://monferrato.com.br/conheca-a-reciclagem-do-aco/>>. Acesso em 17 setembro de 2022.

MOURÃO, Marcelo Breda. **Introdução a Siderurgia.** Disponível em:<<https://www.scribd.com/document/476740645/Introduc-a-o-a-Siderurgia-Moura-o-MB-pdf>>. Acesso em 21 de novembro de 2022.

NASCIF, A. A.; COSTA, L. F. **Estudo de caso sobre o uso do oxicorte na indústria metalúrgica.** Revista Brasileira de Engenharia de Produção, v. 5, n. 2, p. 73-81, 2015. Disponível em: <https://www.rebep.org.br/revista/index.php/rbep/article/view/156>. Acesso em: 30 abr. 2023.

NASCIMENTO, C. C. **Modelamento do Rendimento Metálico Em Fornos Elétricos a Arco.** 2008. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado UFF. Disponível em: <<https://silo.tips/download/modelamento-do-rendimento-metalico-em-fornos-eletricos-a-arco>>. Acesso em 13 setembro de 2022.

O SUCATEIRO. **O que é sucata e a importância desse mercado.** 2019. Disponível em: <<https://osucateiro.com/blog/o-que-e-sucata-e-a-importancia-desse-mercado>>. Acesso em 13 setembro de 2022.

PAREDES, Ramón S. Cortés. **Produção de Ferros e Aços.**2017. Disponível em:<<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM233/Arquivos%20FTP%202020/Aula%20Gusa%20A%C3%A7os/Aula%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20Gusa.pdf>>. Acesso em 21 de novembro de 2022.

PASSOS, Eduardo Romanini dos. **Reciclagem de Automóveis.** 2013. Disponível em:<<https://maua.br/files/monografias/completo-reciclagem-automoveis-161657.pdf>>. Acesso em 19 novembro de 2022

PENSE MAIS. **Preço da sucata de ferro e aço em abril/2023.** Disponível em: <https://pensemais.net/preco-sucata-ferro-aco/>. Acesso em: 30 abril de 2023.

RECYKLOO. **O seu portal sobre reciclagem e sustentabilidade.** c2022 Disponível:<https://recykloo.com.br/reciclar-metal/descarte-e-reciclagem-de-materiais-ferrosos/>. Acesso em 22 novembro de 2022.

REIS, Alexandro dos. **A cadeia reversa do aço: a estrutura de atividades e os riscos dos intermediários da sucata metálica.** 2015. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/6029>>. Acesso em 10 setembro de 2022

RIBEIRO, A. B. et al. **Oxicorte de sucata metálica: aspectos de segurança e proteção ambiental.** In: Anais do 13º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2019. Disponível em: <https://www.congressodemeioambiente.com.br/2019/anais/1845.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

RIBEIRO, Daiana Reis Enes; ALBANI, Mariane Cristine; ALVES, Thalita Rodrigues. **Logística reversa de resíduos de aço no processo de estamparia em uma indústria automotiva.** FAE. 2018. Disponível em: <<https://cadernotcc.fae.emnuvens.com.br/cadernotcc/article/view/230>>. Acesso em: 2 de junho de 2023.

RODRIGUES, Fernanda Luso. **Beneficiamentos e impactos ambientais de uma fábrica de reciclagem artesanal de alumínio no povoado Roque, São Bento–MA.** 2023. Disponível em : <<https://repositorio.uema.br/handle/123456789/1759>>. Acesso em: 2 de julho de 2023.

SICETEL-ABIMETAL. **A readequação do setor de sucatas de ferro e aço na pandemia.** Disponível em: <<https://sicetel-abimetal.com.br/a-readequacao-do-setor-de-sucatas-de-ferro-e-aco-na-pandemia/>>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

SEGAFER. **Sucata Ferro Fundido.** 2022. Disponível em <<https://www.segafer.com.br/sucata-ferro-fundido>>. Acesso em 21 novembro de 2022.

SELETIVA. **Produto.** 2016. Disponível: <<https://seletiva.ind.br/produtos/>>. Acesso em 21 novembro de 2022.

SILVA, E. C. **A logística reversa de embalagens na indústria automobilística.** Anais do Congresso Brasileiro de Logística, 8(1), 326-337. 2019 Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2019/A%20LOG%20C3%8DSTICA%20REVERSA%20DE%20EMBALAGENS%20NA%20IND%20C3%9ASTRIA%20AUTOMOBIL%20C3%8DSTICA.pdf> Acesso em: 02 de junho de 2023.

SILVA, André Luiz V. da Costa e. **Forno Elétrico a Arco.** 2011. Disponível: <[https://www.equilibriumtrix.net/refino/capitulos\\_acs\\_refino/Capitulo%207%20fea%20rev%202%20com%20indice%2028072013.pdf](https://www.equilibriumtrix.net/refino/capitulos_acs_refino/Capitulo%207%20fea%20rev%202%20com%20indice%2028072013.pdf)>. Acesso em 22 de novembro de 2022.

SINDIPEÇAS. Sindicato Nac. dá Ind. de Componentes para Veic Automotores. 2021. Disponível em: <<https://www.virapagina.com.br/sindipecas2021/III/>>. Acesso em 20 setembro de 2022.

SOUZA, K. R. de; MIRANDA, S. H. G. de. **Análise da idade média da frota de veículos automotores rodoviários nos municípios paulistas e sua relação com as emissões de gases poluentes no período de 2006 a 2015** Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 4, n. 7, p. 4331–4350, 2018. DOI: 10.34117/bjdv4n7-525. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/525>. Acesso em: 3 jul. 2023.

SUCATASSCHIFTER. **Sucata.2015.** Disponível em:<<https://sucatasschifter.com.br/>>. Acesso em 21 novembro de 2022

SUCATASVS. **Sucata estamparia.2022** Disponível em:<<https://www.sucatasvs.com.br/produtos/sucatas-de-estamparia/sucata-de-estamparia-comprar>>. Acesso em 22 novembro de 2022.

WORLD STEEL. **Global crude steel output decreases by 0.9% in 2020, 2021.** Bélgica. Disponível em:< <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2021/global-crude-steel-output-decreases-by-0-9-in-2020/>>. Acesso em 09 setembro de 2022.

VARELA, M. S. S. A. **Estudo sobre a reciclagem de sucata ferrosa no Brasil.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29117/1/TESE%20MESTRADO%20MARCIA%20SILVA%20SANTOS%20VARELA%20-%20VERS%C3%83O%20FINAL%20CORRIGIDA%20DISSERTA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 30 abril de 2023.

**APENDICE A – TABELA SIMULAÇÕES - PRIMEIRAS 25**

NÚMERO DA SIMULAÇÃO	PREÇO DA SUCATA	EXPORTADO ESBS TON.	EXPORTADO GRAÚDA TON.	PREÇO DO OXICORTE / KG	PRESENÇA DE SUCATA ESBS NO MIX	CARGA METÁLICA NO MIX	CUSTO CARGA METÁLICA ESBS	PRESENÇA DE SUCATA GRAU NO MIX	CARGA METÁLICA GRAU	CUSTO CARGA METÁLICA GRAU	QUEM ESTÁ MAIS BARATA?	PREÇO DA SUCATA ESBS CONSOLIDADO	PREÇO DA SUCATA GRAU CONSOLIDADO
1	R\$ 0,62	1.052.301,13	9.147.283,86	R\$ 2,72	R\$ 0,45	93,20	R\$ 57,51	0,50	103,68	R\$ 345,62	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 704.150,68	R\$ 41.250.346,44
2	R\$ 1,31	632782,0	10274396,0	R\$ 2,77	R\$ 0,33	69,40	R\$ 91,07	0,36	76,09	R\$ 310,59	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 830.283,30	R\$ 13.481.197,82
3	R\$ 1,18	600627,8	11574434,9	R\$ 2,12	R\$ 0,31	64,06	R\$ 75,33	0,55	114,92	R\$ 379,10	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 706.217,00	R\$ 13.609.199,10
4	R\$ 1,76	823058,9	9278469,2	R\$ 2,32	R\$ 0,20	42,75	R\$ 75,08	0,52	108,47	R\$ 442,31	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.445.562,60	R\$ 16.296.048,09
5	R\$ 0,64	1058731,8	10566200,3	R\$ 2,84	R\$ 0,24	50,25	R\$ 32,20	0,58	121,07	R\$ 421,00	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 678.313,77	R\$ 6.769.607,95
6	R\$ 0,83	1.071.140,18	11.819.846,09	R\$ 2,81	R\$ 0,35	72,50	R\$ 60,49	0,65	135,41	R\$ 493,44	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 893.740,07	R\$ 9.862.266,65
7	R\$ 1,30	951966,2	8486666,2	R\$ 2,39	R\$ 0,44	92,77	R\$ 120,35	0,38	79,13	R\$ 291,57	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.234.917,34	R\$ 11.009.142,00
Continua na próxima página													

Continuação da tabela do Apêndice A

8	R\$ 0,58	789869, 8	972471 5,5	R\$ 2,55	R\$ 0,15	30,68	R\$ 17,66	0,60	125,67	R\$ 392,66	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 454.730 ,57	R\$ 5.598.5 49,69
9	R\$ 1,11	992343, 8	103267 40,9	R\$ 2,71	R\$ 0,54	113,72	R\$ 126,63	0,30	61,79	R\$ 236,18	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.104.9 89,86	R\$ 11.498. 983,01
10	R\$ 0,89	959432, 4	106946 43,5	R\$ 2,88	R\$ 0,45	94,63	R\$ 84,29	0,64	133,64	R\$ 503,54	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 854.599 ,25	R\$ 9.526.0 84,38
11	R\$ 1,16	104135 7,8	103932 11,9	R\$ 2,55	R\$ 0,14	28,54	R\$ 33,17	0,11	22,38	R\$ 83,05	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.210.3 61,13	R\$ 12.079. 939,43
12	R\$ 1,28	996371, 8	105157 30,1	R\$ 2,89	R\$ 0,75	156,33	R\$ 200,44	0,86	178,88	R\$ 746,02	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.277.5 04,67	R\$ 13.482. 812,13
13	R\$ 0,54	872828, 2	124594 90,4	R\$ 2,68	R\$ 0,12	24,62	R\$ 13,22	0,76	159,53	R\$ 513,22	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 468.429 ,60	R\$ 6.686.7 61,61
14	R\$ 0,81	775629, 6	120946 17,5	R\$ 2,87	R\$ 0,53	110,97	R\$ 89,50	0,64	133,79	R\$ 491,28	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 625.544 ,75	R\$ 9.754.3 00,48
15	R\$ 1,10	815794, 3	930160 3,0	R\$ 2,56	R\$ 0,71	149,37	R\$ 163,70	0,34	71,59	R\$ 261,79	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 894.110 ,66	R\$ 10.194. 557,70
16	R\$ 1,51	598399, 4	958323 8,4	R\$ 2,06	R\$ 0,15	31,11	R\$ 46,84	0,87	182,21	R\$ 649,92	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 900.917 ,11	R\$ 14.427. 995,28
Continua na próxima página													

Continuação da tabela do Apêndice A													
17	R\$ 2,00	992786, 1	913079 5,9	R\$ 2,66	R\$ 0,24	51,07	R\$ 101,95	0,71	148,27	R\$ 690,49	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.981.6 90,90	R\$ 18.225. 894,19
18	R\$ 0,75	807396, 7	931478 0,1	R\$ 2,28	R\$ 0,35	72,78	R\$ 54,39	0,47	98,38	R\$ 297,51	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 603.365 ,20	R\$ 6.960.9 07,89
19	R\$ 1,49	824020, 8	102504 30,8	R\$ 2,68	R\$ 0,22	46,99	R\$ 69,88	0,48	100,42	R\$ 418,49	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.225.4 90,48	R\$ 15.244. 524,35
20	R\$ 1,24	103072 0,6	124037 98,1	R\$ 2,17	R\$ 0,63	130,78	R\$ 162,45	0,63	131,15	R\$ 447,85	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.280.3 54,01	R\$ 15.407. 912,65
21	R\$ 1,40	717745, 3	124952 67,1	R\$ 2,41	R\$ 0,26	55,04	R\$ 77,00	0,11	22,37	R\$ 85,16	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.004.0 77,55	R\$ 17.480. 040,06
22	R\$ 1,81	652497, 7	883835 1,7	R\$ 2,52	R\$ 0,79	165,42	R\$ 298,73	0,41	85,92	R\$ 371,48	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.178.3 04,78	R\$ 15.960. 627,26
23	R\$ 1,95	720187, 0	120439 55,9	R\$ 2,12	R\$ 0,15	32,12	R\$ 62,64	0,34	70,60	R\$ 287,33	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.404.5 66,01	R\$ 23.489. 082,05
24	R\$ 1,35	581087, 5	955794 0,8	R\$ 2,51	R\$ 0,38	80,24	R\$ 108,37	0,26	54,64	R\$ 210,95	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 784.769 ,86	R\$ 12.908. 183,83
25	R\$ 1,79	571451, 7	122823 96,2	R\$ 2,52	R\$ 0,11	23,48	R\$ 41,95	0,89	185,29	R\$ 797,07	<b>GRAU MAIS CARO</b>	R\$ 1.021.0 44,53	R\$ 21.945. 639,75

Fonte: o autor (223)