

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIELLY DE FÁTIMA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE  
PROCESSO PRODUTIVO GERADOS POR UMA INDÚSTRIA DE  
ELETRODOMÉSTICOS

CURITIBA

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIELLY DE FÁTIMA SIQUEIRA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE  
PROCESSO PRODUTIVO GERADOS POR UMA INDÚSTRIA DE  
ELETRODOMÉSTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado de Meio Ambiente Urbano e Industrial, no Setor de Tecnologia, na Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof Dr Alvaro Luiz Mathias  
Coorientadora: Dra Karina Cubas Amaral

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Siqueira, Marielly de Fátima

Avaliação do ciclo de vida da reciclagem de resíduos de processo produtivo gerados por uma indústria de eletrodomésticos / Marielly de Fátima Siqueira. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Alvaro Luiz Mathias

Coorientador: Karina Cubas Amaral

1. Resíduos industriais. 2. Eletrodomésticos. 3. Resíduos de Metal. 4. Plástico – Resíduos. 5. Reciclagem. 6. Ciclo de vida do produto. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. III. Mathias, Alvaro Luiz. IV. Amaral, Karina Cubas. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **MARIELLY DE FATIMA SIQUEIRA** intitulada: **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE PROCESSO PRODUTIVO GERADOS POR UMA INDÚSTRIA DE ELETRODOMÉSTICOS**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Dezembro de 2022.

Assinatura Eletrônica

12/12/2022 11:15:11.0

ALVARO LUIZ MATHIAS

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

13/12/2022 08:44:23.0

REGINA MARIA MATOS JORGE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

12/12/2022 14:33:49.0

NÍDIA DE SÁ CAETANO

Avaliador Externo (INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais pelos inúmeros sacrifícios pessoais em busca de uma vida melhor para mim e meus irmãos, sempre demonstrando orgulho em nossas conquistas.

Gostaria de agradecer também meu marido, companheiro e melhor amigo, por estar ao meu lado durante todo esse tempo e me apoiar e suportar em absolutamente tudo. Por todo o amor e carinho que serviram de combustível em meio a correria e estresse nesta jornada de trabalho e estudos.

Gostaria de agradecer aos meus irmãos que sempre me incentivaram e me colocaram para cima quando o sentimento de incapacidade surgia. Assim como um agradecimento especial a minha irmã e ao meu cunhado, que nos prestaram todo o suporte em meio a uma mudança de país, que ocorreu simultaneamente ao desenvolvimento desta dissertação.

Gostaria de agradecer ao meu Orientador Professor Dr. Alvaro Luiz Mathias e a minha Coorientadora Dra. Karina Cubas Amaral, que me prestaram todo suporte e compartilharam conhecimentos sem os quais, não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

Assim como agradecer a todos os meus amigos, especialmente ao Caravana, que neste tempo entenderam a minha ausência e que por vezes me tiraram da frente do computador e me levaram às montanhas da nossa serra, para pausas necessárias e revigorantes.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao Instituto 17 e Projeto BEP, por gentilmente me fornecerem as informações relativas à base de dados Ecoinvent e possibilitar assim a realização desta pesquisa.

Um último agradecimento ao setor de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Manufatura da empresa objeto de estudo, que permitiram o desenvolvimento desta pesquisa.

*“Há quem passe por um bosque e só veja lenha para a fogueira”*

Liev Tolstoï

## RESUMO

A indústria metalomecânica gera diversos resíduos sólidos em seus processos produtivos. Sua gestão implica em escolhas de diferentes opções de tratamento e destinação que podem impactar a sustentabilidade e à saúde humana. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito dos processos de gestão de resíduos de uma indústria de manufatura dos produtos eletrodomésticos, com o uso da avaliação do ciclo de vida da reciclagem dos resíduos de metal e plásticos gerados. Todo o processo de gerenciamento de resíduos foi mapeado e analisado para a criação do inventário do estudo de caso, considerando as etapas de transporte e reciclagem dos resíduos de plástico e metal com base na unidade funcional do gerenciamento de 1 tonelada de resíduos de plástico e metal gerados para a manufatura de 530 produtos de linha branca (refrigeradores e freezers). A avaliação do impacto do ciclo de vida abordou todas as categorias de impacto de *midpoint* disponíveis no método Recipe 2016, sendo que a etapa de transporte utilizou a base de dados do Ecoinvent e a destinação a base de dados Idemat. A base de dados do Idemat foi escolhida para a destinação por considerar os impactos dos processos de reciclagem e não apenas os seus créditos. O software de modelagem utilizado foi o openLCA. Para a etapa de transporte, apenas 4 das 18 categorias de impacto avaliadas apresentaram resultados significativos sendo elas ecotoxicidade terrestre, aquecimento global, esgotamento de recursos fósseis e toxicidade não carcinogênica, sendo todos os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Na etapa de destinação 10 categorias apresentaram impactos positivos ao meio ambiente e saúde humana, 7 categorias apresentaram valores não significativos, apenas a categoria de ocupação de solo resultou em impacto negativo. Os resíduos que obtiveram maior contribuição negativa dentro do processo foram os resíduos de plástico, demonstrando que apesar de possuírem créditos de reciclagem, as emissões causadas por estes processos podem ser mais impactantes ao meio ambiente que a sua produção com base em matéria prima virgem. Já para os resíduos de aço, os resultados demonstram que a reciclagem destes materiais é extremamente vantajosa ao meio ambiente, pois os impactos evitados foram observados em diversas categorias avaliadas.

Palavras-chave: Resíduos; Indústria; Eletrodomésticos; Avaliação de Ciclo de Vida; Reciclagem; Resíduos de Metal; Resíduos de Plástico; Economia Circular;

## ABSTRACT

The *Metalworking* industry generates several solid wastes in its productive process. Its management involves different treatment and destination choices that can impact sustainability and human health. This study aimed to evaluate the effect of waste management processes in a household appliances industry, using the life cycle assessment of metal and plastic waste generated recycling. The entire waste management process was mapped and analysed to create the inventory of the study case, considering the stages of transportation and recycling of plastic and metal waste based on the functional unit of 1 ton plastic and metal waste generated management for the manufacture of 530 white goods (refrigerators and freezers). The life cycle impact assessment addressed all the midpoint impact categories available in the Recipe 2016 method, the transport step used the Ecoinvent database and the destination the Idemat database. The Idemat database was chosen for the destination because it considers the recycling processes impacts and not only their credits. The modelling software used was openLCA. To the transport stage, only 4 of the 18 impact categories evaluated presented significant results, such as terrestrial ecotoxicity, global warming, fossil resources scarcity and human non-carcinogenic toxicity, all negative impacts to the environment and human health. In the destination stage, 10 categories showed positive impacts to the environment and human health, 7 categories showed no significant values, only the soil occupation category resulted in negative impact. The wastes that had the biggest negative contribution in the process were plastic waste, demonstrating that despite having recycling credits, emissions caused by these processes can be more impactful to the environment than their production based on virgin raw material. As for steel waste, the results show that the recycling of these materials is extremely advantageous to the environment, because the avoided impacts were observed in several categories evaluated.

Key Words: Wastes; Industry; Household appliances; Life cycle assessment; Recycling; Metal wastes; Plastic wastes; Circular economy.

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ABRANGÊNCIA DE MIDPOINT FC RECIPE 2008 X 2016.....	31
QUADRO 2 - CARACTERÍSTICA DOS DADOS E FONTES DE SUA OBTENÇÃO.	38
QUADRO 3 - HOMOLOGAÇÃO DE PRESTADORES DE SERVIÇOS .....	42
QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO INTERNA DOS RESÍDUOS.....	44
QUADRO 5 - COMPARATIVO RESÍDUOS .....	68
QUADRO 6 - RELAÇÃO RESÍDUO POR PRODUTO .....	70
QUADRO 7 - RELAÇÃO RESÍDUO TOTAL POR PRODUTO .....	71
QUADRO 8 - ENTRADAS E SAÍDAS .....	73
QUADRO 9 - EFEITO DOS DOIS TIPOS DE CAMINHÕES .....	77
QUADRO 10 - SELEÇÃO DE RESÍDUOS NO IDEMAT .....	78
QUADRO 11 - MATRIZ DE SIGNIFICÂNCIA ETAPA DE TRANSPORTE.....	93
QUADRO 12 - MATRIZ DE SIGNIFICÂNCIA ETAPA DE DESTINAÇÃO .....	94

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CÁLCULO UF.....	35
TABELA 2 - RELAÇÃO TECNOLOGIAS DE DESTINAÇÃO .....	64
TABELA 3 – QUANTIDADE TOTAL E FLUXO DE REFERÊNCIA (FR) .....	74
TABELA 4 - CÁLCULO TKM E VEÍCULOS.....	75
TABELA 5 - EFEITO DOS DOIS TIPOS DE VEÍCULOS .....	81
TABELA 6 – RESULTADOS ETAPA DE DESTINAÇÃO UF.....	84
TABELA 7 - RESULTADOS CATEGORIAS DE IMPACTO ESTIMADO 2018 2021 .	99
TABELA 8 - SALDO DE IMPACTOS 2018 A 2021 .....	100
TABELA 9 - EMISSÕES CO <sub>2</sub> RESÍDUOS SIGNIFICATIVOS.....	101

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	17
FIGURA 2 – ARTIGOS PUBLICADOS SOBRE ECONOMIA CIRCULAR .....	20
FIGURA 3 – HIERARQUIA DE GESTÃO DOS RESÍDUOS .....	22
FIGURA 4 - ESQUEMA LIXÃO .....	23
FIGURA 5 - ESQUEMA ATERRO CONTROLADO.....	23
FIGURA 6 - ESQUEMA ATERRO SANITÁRIO.....	24
FIGURA 7 - ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	28
FIGURA 8 - FLUXOGRAMA PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS.....	34
FIGURA 9 - LIMITES DO SISTEMA.....	37
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA PROCESSO DE MANUFATURA.....	41
FIGURA 11 - MACROFLUXO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS .....	46
FIGURA 12 - IDENTIFICAÇÃO PADRÃO DE CONTENTORES DE RESÍDUOS .....	47
FIGURA 13 - CONTENTORES DE RESÍDUOS.....	48
FIGURA 14 - CARRINHOS DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS .....	48
FIGURA 15 - DASHBOARD DE AUDITORIAS DE COLETA SELETIVA.....	50
FIGURA 16 - CARRINHOS DE SUCATA.....	50
FIGURA 17 - CORES DE CARRINHOS DE SUCATA POR ÁREA.....	51
FIGURA 18 - REBOCADOR ELÉTRICO COM CARRINHO DE RESÍDUOS.....	52
FIGURA 19 - EMPILHADEIRA ELÉTRICA COM GARFO GIRATÓRIO .....	52
FIGURA 20 - LAYOUT ÁREA INTERNA CRI.....	54
FIGURA 21 - LAYOUT ÁREA EXTERNA CRI.....	55
FIGURA 22 - PRENSA DE PAPELÃO .....	56
FIGURA 23 - PRENSA DE PAPEL BRANCO .....	56
FIGURA 24 - PRENSA DE PLÁSTICO FILME.....	57
FIGURA 25 - AGLUTINADOR DE EPS.....	57
FIGURA 26 - COMPACTADORES DE RESÍDUOS .....	58
FIGURA 27 - TELA 1: CONTROLE DE QUANTIDADES DE COLETAS .....	60
FIGURA 28 - TELA 2: PESOS DAS COLETAS .....	60
FIGURA 29 - TELA 3: FOTOS DAS CARGAS .....	61
FIGURA 30 - ESCOPO PROGRAMA ZERO ATERRO.....	62
FIGURA 31 - HIERARQUIA DOS RESÍDUOS PROGRAMA ZERO ATERRO .....	63
FIGURA 32 - RESÍDUOS DESTINADOS PARA REAP. ENERGÉTICO.....	65
FIGURA 33 - RESÍDUOS DESTINADOS PARA INCINERAÇÃO/ATERRO .....	65

FIGURA 34 - RESÍDUOS DESTINADOS PARA RECICLAGEM .....	66
FIGURA 35 - RELAÇÃO INDICADORES ZERO ATERRO .....	67
FIGURA 36 – COMPOSIÇÃO QUANTITATIVA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS .....	67
FIGURA 37 - COMPOSIÇÃO ESTIMADA REFRIGERADORES .....	69
FIGURA 38 – CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE PLÁSTICO E METAL .....	70
FIGURA 39 – CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS TOTAIS (2018-2021).....	71
FIGURA 40 – CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS TOTAIS (2019-2021).....	72
FIGURA 41 - CRIAÇÃO DE FLUXO DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS OPENLCA .....	79
FIGURA 42 - INPUTS PROCESSO DE RECICLAGEM DE RS METÁLICOS E PLÁSTICOS NO OPEN LCA.....	79
FIGURA 43 - PROPRIEDADES DE CÁLCULO NO OPENLCA.....	80
FIGURA 44 - ANÁLISE DE RESULTADOS NO OPENLCA.....	80
FIGURA 45 - ESGOTAMENTO DE RECURSOS FÓSSEIS TRANSPORTE .....	82
FIGURA 46 - TOXICIDADE NÃO CARCINOGENICA TRANSPORTE .....	82
FIGURA 47 - AQUECIMENTO GLOBAL TRANSPORTE .....	83
FIGURA 48 - ECOTOXICIDADE TERRESTRE TRANSPORTE .....	83
FIGURA 49 - AQUECIMENTO GLOBAL POR RESÍDUO - UF .....	85
FIGURA 50 - OCUPAÇÃO DO SOLO POR RESÍDUO - UF .....	86
FIGURA 51 - FORMAÇÃO DE OZÔNIO POR RESÍDUO - UF .....	86
FIGURA 52 - ECOTOXICIDADE TERRESTRE POR RESÍDUO - UF .....	87
FIGURA 53 - ESGOTAMENTO DE RECURSOS FÓSSEIS POR RESÍDUO - UF ...	88
FIGURA 54 - TOXICIDADE NÃO CARCINOGENICA POR RESÍDUO - UF .....	89
FIGURA 55 - ESGOTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS POR RESÍDUO - UF .	90
FIGURA 56 - CONSUMO DE ÁGUA POR RESÍDUO - UF .....	90
FIGURA 57 - TOXICIDADE CARCINOGENICA E MARINHA POR RESÍDUO - UF .	91
FIGURA 58 - PONTUAÇÃO SIGNIFICÂNCIA RESÍDUOS.....	92
FIGURA 59 - CRÉDITOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM X IMPACTOS DO PROCESSO DA RECICLAGEM – CATEGORIA: AQUECIMENTO GLOBAL.....	96
FIGURA 60 - CRÉDITOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM X IMPACTOS DO PROCESSO DA RECICLAGEM – CATEGORIA: TOXICIDADE NÃO CARCINOGENICA .....	97

FIGURA 61 - CRÉDITOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM X IMPACTOS DO PROCESSO DA RECICLAGEM – CATEGORIA: ECOTOXICIDADE TERRESTRE 97	
FIGURA 62 - COMPARAÇÃO TRANSPORTE X DESTINAÇÃO.....	100

## LISTA DE SIGLAS

ACV –	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV –	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
CDF –	Certificado de Destinação Final
COP –	Conferência das Partes
CRI –	Central de Resíduos Industriais
EC -	Economia Circular
EPA -	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI –	Equipamento de Proteção Individual
EPS –	Poliestireno expansível (isopor)
ETE –	Estação de Tratamento de Efluentes
FR –	Fluxo de Referência
GEE –	Gases do Efeito Estufa
IA –	Instrução Ambiental
IPCC –	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ODS –	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU –	Organização das Nações Unidas
PNRS –	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PU –	Poliuretano expandido
REPA -	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RSS –	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU –	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS –	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
t –	Tonelada
tkm –	Toneladas por quilometro
UF –	Unidade Funcional

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	16
2.2 ECONOMIA CIRCULAR.....	18
2.3 A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DOS RESÍDUOS .....	21
2.3.1 Hierarquia de Gestão de Resíduos .....	21
2.3.2 Gestão Integrada e Gerenciamento Sustentável dos Resíduos Sólidos .	24
2.3.4 Destinação de Resíduos Industriais .....	25
2.4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) .....	27
2.4.1 Breve Histórico dos Estudos de ACV .....	27
2.4.2 Metodologia e Estruturação da ACV .....	27
2.4.3 Metodologia aplicada na ACV .....	30
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO.....	33
3.1.1 Sistema de Produto e Processo .....	33
3.1.1.1 Caracterização da área de estudo .....	33
3.1.1.2 Processos de gerenciamento de resíduos .....	34
3.1.2 Metodologia de Caracterização.....	35
3.1.2.1 Unidade funcional e fluxo de referência .....	35
3.1.2.2 Fronteiras do sistema .....	36
3.1.2.3 Procedimentos de alocação .....	37
3.1.2.4 Categorias de impacto.....	37
3.1.2.5 Dados de estudo .....	38
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
4.1 MAPEAMENTO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ....	40
4.1.2 Processos de Gerenciamento de Resíduos .....	42
4.1.2.1 Homologação de prestadores de serviços ambientais .....	42
4.1.2.2 Geração de resíduos.....	43
4.1.2.3 Coleta e transporte interno.....	47
4.1.2.4 Segregação e armazenamento interno .....	53
4.1.2.5 Coleta e transporte externos .....	58

4.1.2.6 Destinação final .....	61
4.2 INVENTÁRIO DO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ..	72
4.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS.....	81
4.3.1 Resultados Categorias de Impacto por UF.....	81
4.3.1.1 Transporte .....	81
4.3.1.2 Destinação .....	83
4.3.1.2.1 Aquecimento global.....	84
4.3.1.2.2 Ocupação do solo.....	85
4.3.1.2.3 Formação de ozônio em ecossistemas terrestres e saúde humana .	86
4.3.1.2.4 Ecotoxicidade terrestre.....	87
4.3.1.2.5 Esgotamento de recursos fósseis.....	87
4.3.1.2.6 Toxicidade não carcinogênica em humanos .....	88
4.3.1.2.7 Esgotamento de recursos minerais .....	89
4.3.1.2.8 Consumo de água .....	90
4.3.1.2.9 Toxicidade carcinogênica em humanos e ecotoxicidade marinha.....	91
4.4 INTERPRETAÇÃO .....	91
4.4.1 Transporte .....	92
4.4.2 Destinação .....	93
4.5.2 Estimativa do Potencial Impacto no Período de 2018-2021 .....	98
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de produção de bens e serviços, associado às mudanças nos padrões de consumo sem preceitos de sustentabilidade ambiental provocaram a intensificação de impactos deletérios ao meio ambiente nas últimas décadas (ABDULLAH e ANWAR, 2021). Em busca da redução dos impactos ambientais, observa-se uma mudança de paradigmas de gestão, como é o caso da gestão sustentável de resíduos sólidos (ZAMAN; LEHMANN, 2013). Neste sentido, conhecer a fonte de geração destes resíduos é indispensável para uma gestão racional, com base nas suas características físico-químicas e biológicas, sua composição e potencial de segregação para definir possíveis tratamentos e disposição final (ZHANG et al., 2022).

A geração desnecessária de resíduos além de ser um sinal da ineficiência dos processos industriais é também um mau uso de recursos naturais já explorados. Logo, a prevenção de depleção dos recursos não renováveis demanda estabelecimento de tecnologias mais limpas e gestão inteligente de resíduos sólidos. Destacando que essas ações preveem tratativas preliminares de criação de métodos de não geração de resíduos (ZAMAN; LEHMANN, 2013).

A gestão de resíduo sólidos no Brasil é de responsabilidade compartilhada entre o poder público, as empresas e a população (BOHANA et al., 2021). Ela se baseia na Lei 12.305 (BRASIL, 2010) que estabelece as diretrizes que devem ser adotadas tanto para o setor público, como para o setor privado. No caso dos resíduos gerados por empresas e indústrias, seu plano de gestão deve estar integrado ao Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Logo, fica evidente a participação proativa da indústria na busca de formas para minimizar o problema causado pelos seus resíduos.

O presente estudo abordará o processo de gerenciamento de resíduos de uma indústria de eletrodomésticos paranaense que está dentro do contexto dos Objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), estabelecidos pela ONU, item “12 Consumo e Produção Responsáveis”. Para tal, a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi aplicada para definição do objetivo e escopo, levantar e avaliar o inventário do processo de gerenciamento de resíduos sólidos gerados pelo processo de manufatura em questão e avaliar os potenciais impactos deletérios ao meio ambiente.

No caso específico deste estudo, foi realizado o inventário dos processos de gestão de resíduos de plástico e metal em uma indústria de manufatura dos produtos denominados de linha branca (contempla os produtos como refrigeradores e freezers). Para isto, uma ferramenta de modelagem de ACV foi usada para estimar o impacto para as etapas de gerenciamento dos resíduos, contemplando o transporte externo e destinação final dos resíduos de plástico e metal. Buscando deste modo, identificar quais são os impactos ao meio ambiente e à saúde humana dos processos de gerenciamento de resíduos de plástico e metal e quais são os resíduos que possuem maior representatividade dentre as categorias de impacto compreendidas no método de avaliação de impacto Recipe.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos dos processos de gestão de resíduos através da técnica da avaliação de ciclo de vida, aplicada à gestão de resíduos de plástico e metal gerados no processo produtivo de uma empresa de eletrodomésticos.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Definir o objetivo e escopo;
- b) Mapear os processos relacionados ao gerenciamento dos resíduos;
- c) Realizar o inventário do ciclo de vida;
- d) Avaliar os potenciais Impactos do Ciclo de Vida;
- e) Identificar quais são os resíduos mais representativos;
- f) Realizar a estimativa de impactos potenciais dentro do período analisado;

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As consequências das mudanças climáticas impactam cada vez mais a sociedade, a biodiversidade e os ecossistemas. A severidade dos impactos relacionados às mudanças climáticas tende a aumentar caso as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) continuem na proporção atual (JIA et al., 2019).

As mudanças climáticas estão em sua essência associadas ao aquecimento global devido à intensificação do efeito estufa. O efeito estufa é uma condição natural do planeta Terra e que, benéficamente, mantém a grandeza da temperatura média do planeta adequada à manutenção da vida. Assim, os GEEs são responsáveis por limitar que toda a radiação solar seja devolvida ao espaço, logo mantendo as condições adequadas na Terra para o seu ecossistema (JUNGES, 2018).

Por outro lado, a intensificação do efeito estufa pode se dar devido a maior presença de GEEs, de fontes naturais e antrópicas, na atmosfera. Isso faz com que menos radiação seja emitida para o espaço, ocasionando o aumento da temperatura do planeta (JUNGES et al., 2018).

Segundo Djalante (2019), os impactos ambientais e sociais com o aumento da temperatura média do planeta representam um risco alarmante para todas as atividades humanas e ecossistemas terrestres. Se comparado com a temperatura do período pré-industrial o aumento futuro de temperatura em 1,5° graus Celsius, pode causar consequências como aumento dos níveis do mar, ondas de calor, incêndios florestais, secas em regiões tropicais e enchentes em diversas regiões do globo. Estes acontecimentos irão afetar diretamente a vida humana, a diversidade biológica e ecossistemas inteiros também serão penalizados (DJALANTE, 2019).

O IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) em seu *workshop* sobre a diversidade e as mudanças climáticas realizado em 2021 discutiu os impactos climáticos decorrentes do aumento da temperatura do globo de 1,5°C até 4°C, se comparado ao período pré-industrial. Eles também consideraram que esses aumentos de temperatura podem ocasionar mudanças irreversíveis nos sistemas climáticos da Terra, afetando diretamente a biodiversidade marinha e terrestre e a qualidade da vida humana no planeta (PÖRTNER et al., 2021).

Porém a discussão sobre os impactos, relacionados às atividades antrópicas, já está em pauta há muito tempo, tendo seu primeiro encontro mundial abertamente relacionado a questões ambientais realizado em Estocolmo na Suécia em 1972. Esta conferência teve como resultado a Declaração de Estocolmo sobre o ambiente humano, contendo 26 princípios para a busca do equilíbrio global (BARBADO e LEAL, 2021).

Desde então inúmeras conferências foram realizadas a nível mundial para a discussão do tema relacionado às mudanças climáticas, entre elas a Rio 92 que resultou na Agenda 21, a primeira Conferência das Partes (COP1) realizada na Alemanha em 1995, a Cúpula do Milênio realizada em 2000 em Nova Iorque dando origem aos Objetivos do Milênio, a Rio + 20 realizada no Rio de Janeiro em 2012. A Conferência das Partes é um evento anual que reúne os chefes de estado para a discussão dos avanços alcançados e das ações a serem realizadas, estabelecendo assim metas pertinentes às ações para garantir a sustentabilidade e reduzir as emissões dos GEEs (BARBADO e LEAL, 2021).

Uma das agendas importantes para combater as mudanças climáticas é a Agenda 2030. A discussão foi iniciada na Conferência Rio+20 realizada no Rio de Janeiro em 2012. A proposta da Agenda foi aprovada em 2015 e transformou os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio em Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Totalizando 17 objetivos (FIGURA 1) voltados as mais diversas áreas (ROMA, 2019).

FIGURA 1 - OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



FONTE: ODS BRASIL (2022)

Para Burigo e Porto (2021) os ODS foram estabelecidos para atuar de maneira conjunta, pois os autores argumentam que em uma sociedade onde ainda existem pessoas abaixo da linha da pobreza é impossível se alcançar a sustentabilidade. Desta forma todo o sistema deve mudar e o desafio de se alcançar os ODS deve

conectar todas as ações. Os governos devem ter ações implementadas para cada ODS até 2030.

## 2.2 ECONOMIA CIRCULAR

O aumento das necessidades de consumo da população mundial associados às evidências irrefutáveis da finitude dos recursos do planeta para atendimento a essas demandas, são situações que colocam em pauta quais são os limites de disponibilidade destes recursos (LUTHRA et al., 2022). O aquecimento global e todos os impactos ambientais causados pela gestão irresponsável de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, bem como o desmatamento são preocupações que acometem a sociedade e os cientistas desde a década de 70 (ALCALDE et al., 2022).

Neste cenário de preocupação com os rumos tomados pela sociedade com relação às questões ambientais, em 1990 é redigido um estudo intitulado *Economics of Natural Resources and the Environment*. Os autores do estudo Pearce, D. W., e R. K. Turner dedicam um capítulo inteiro à Economia Circular (EC), abordando questões associadas às dinâmicas de economia linear e a disponibilidade limitada de recursos naturais (ALCALDE et al., 2022).

O modelo econômico mundial aplicado atualmente que é conhecido como economia linear, baseia-se no conceito “*take-make-dispose*”, em português coletar, produzir e descartar. Neste modelo, os impactos causados pela extração de recursos naturais não renováveis, os desperdícios ocorridos durante os processos de manufatura de bens e a disposição final dos resíduos após uso, conhecido como fim de vida dos produtos, não figuram entre as principais preocupações do mercado (LAZAREVIC e VALVE, 2017).

Muitos dos problemas sociais e ambientais existentes são consequências da aplicação da economia linear ao longo de décadas após a revolução industrial. Desta forma, se faz necessária uma revisão de como as instituições e governos comportam-se frente a todas as mudanças exigidas, como a circularidade e o aumento da conscientização com relação ao uso dos recursos (LUTHRA et al., 2022).

Para Lazarevic e Valve (2017), a economia circular repousa sobre um conceito completamente diferente do que se aplica atualmente e propõe uma visão sistêmica, buscando otimizar a forma com que os recursos são utilizados e mudando completamente o sentido de fim de vida. Para isto, reforça a necessidade de alteração

de design de produtos, processos e serviços de uma maneira geral, pois estes foram idealizados em um momento e realidades onde não se consideravam aspectos, agora fundamentais, para a manutenção de recursos para as futuras gerações.

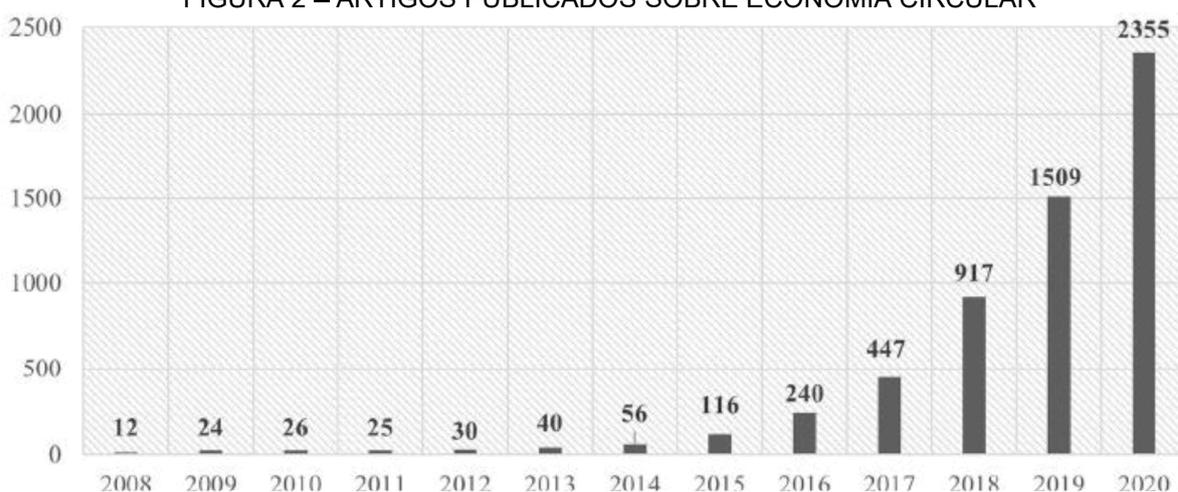
De acordo com Alcade et al., (2022), a otimização do uso dos recursos naturais dentro da economia circular pode ser feita por meio da redução de geração de resíduos, da reutilização, recuperação e reciclagem de materiais. Outra ação é a estruturação da cadeia de suplementos de produção e de sua distribuição, considerando em todos os processos a busca pela eficiência energética e uso de fontes de energias renováveis.

Dentro de grandes indústrias estas ações podem estar diretamente associadas aos conceitos de *Lean Manufacturing* e indústria 4.0. Nestes conceitos os recursos são olhados como custos e procura-se uma produção mais limpa e eficiente para evitá-los ou reduzi-los ao máximo. Porém, diferentemente do conceito isolado da indústria 4.0, para a EC essas medidas são adotadas objetivando o desenvolvimento econômico aliado à qualidade ambiental e equidade social (YAMOA, et al., 2022).

Porém, o conceito ainda está longe da implementação real, pois de acordo com Gonvindan e Hasanagic (apud YAMOA et al., 2022), ainda existem 8 barreiras principais para sua efetivação, estas barreiras são: 1) Governamental, sendo a falta de políticas voltadas a EC; 2) Econômica, devido à falta de incentivos; 3) Tecnológica, devido a tecnologias limitadas; 4) Conhecimento e habilidades por parte da sociedade e das empresas; 5) Gestão, sendo associada a falta de engajamento das lideranças; 6) Falta de confiança dos resultados da EC; 7) Cultura e sociedade, pois de acordo com os autores não há engajamento da sociedade na reutilização de produtos por exemplo; 8) Deficiências do mercado em absorver um fluxo de produtos reaproveitados e a falta de procedimentos para isso.

As barreiras apresentadas podem estar associadas ao recente desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao tema. Um levantamento realizado por Alcade et al. (2022), considerando o número de artigos publicados com o tema “Economia Circular” de 2008 a 2020. Demonstrou que nos últimos 4 anos, 2017 a 2020, está concentrada a maior parte dos artigos relacionados a EC e se comparados ao período inicial, de 12 artigos publicados em 2008, ocorre um aumento para 2.355 artigos publicados no ano de 2020 (FIGURA 2).

FIGURA 2 – ARTIGOS PUBLICADOS SOBRE ECONOMIA CIRCULAR



Fonte: Alcade et al., (2022)

Foram classificados 4 principais acontecimentos relacionados a EC durante o período avaliado, a criação da lei de promoção da economia circular que ocorreu na China em 2008, a criação de um manifesto por parte da União Europeia chamado *Circular, Resource-Efficient and Resiliente Economy* em 2012, em 2016 a União Europeia inicia os esforços para o primeiro plano de ação para a economia circular, estabelecendo 54 ações e medidas abrangendo temas como ciclo de vida e economia circular. Por último a crise do Coronavírus em 2020, que foi responsável por impacto sem precedentes na sociedade mundial e trouxe em cena mais uma vez a necessidade de se olhar para o meio ambiente e que as consequências do atual modelo econômico podem ser desastrosas (ALCADE et al., 2022).

Para Luthra et al. (2022), o desafio da implementação da Economia circular reside no fato de não existir muitos casos de sucesso que possam incentivar os investidores a seguir de fato para esse caminho, pois as soluções são apresentadas de uma maneira muito holística e com resultados que talvez não possam ser vistos a curto e médio prazo, sendo pouco ou nada atraente como modelo econômico. Esta dificuldade aumenta quando se trata de países emergentes que estão em pleno desenvolvimento econômico, que talvez precisassem paralisar ou retardar seu desenvolvimento para dar espaço a políticas de economia circular.

## 2.3 A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DOS RESÍDUOS

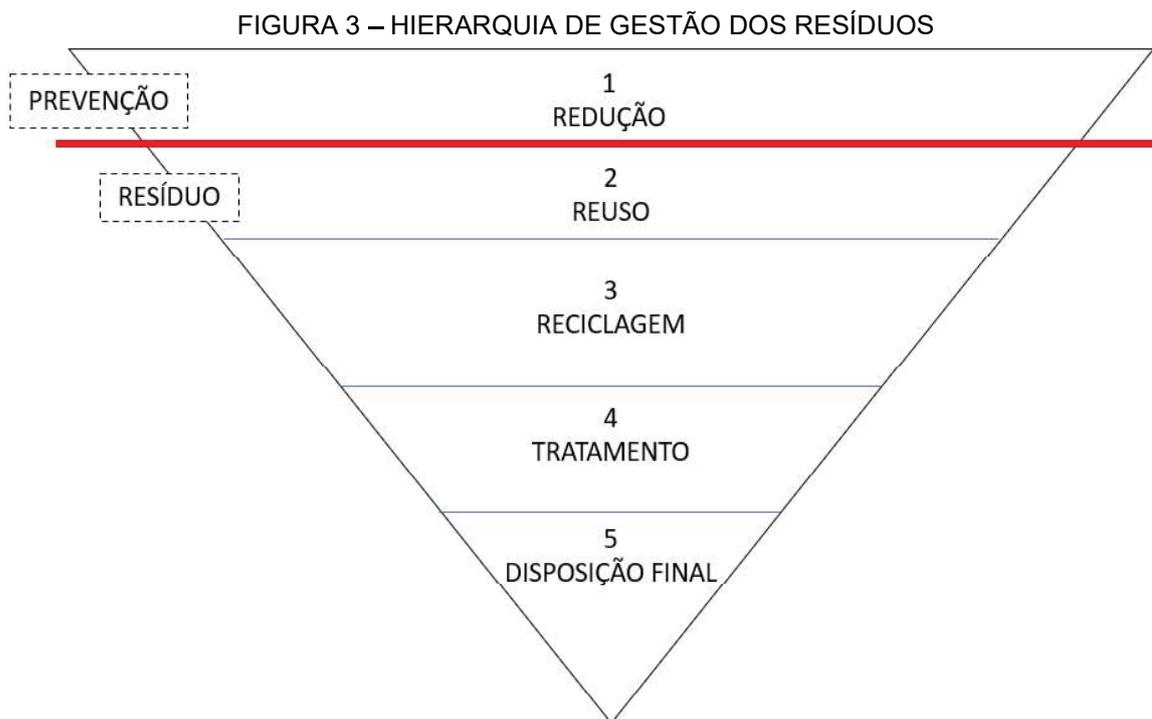
### 2.3.1 Hierarquia de Gestão de Resíduos

Uma das principais causas de poluição e contaminação ambiental derivadas das atividades antrópicas são os resíduos sólidos e líquidos, estes resíduos possuem as mais diversas fontes, sendo elas industriais, agricultura, comerciais e os resíduos municipais (ZHANG et al., 2022).

Para Zaman e Lehmann (2013) a geração de resíduos é um símbolo da ineficiência dos processos na sociedade atual e a comprovação de recursos mal alocados. A prevenção contra a depleção dos recursos não renováveis passa também pela elaboração de estratégias mais sustentáveis e inteligentes de gestão de resíduos sólidos, a criação de métodos de não geração de resíduos e economia destes recursos.

A hierarquia dos resíduos, uma das premissas da Economia Circular, também é conhecida como 3Rs, mas possui diversas variações com derivações mais detalhadas dentro do processo de manejo dos resíduos. Segundo Pires e Martinho (2020), o conceito dos 3Rs em si (reduzir, reusar e reciclar) existe há cerca de 40 anos, surgindo primeiramente nos Estados Unidos e Alemanha. A hierarquia dos resíduos é um conceito de manejo de resíduos que busca o menor impacto possível, desta forma existe uma ordem de priorização do manejo.

Neste conceito são apresentadas opções que podem ser aplicados para substâncias, materiais e objetos, antes ou depois de virarem resíduos, justamente devido à ordem de priorização (GHARFALKAR et al., 2015). A FIGURA 3 apresenta a ordem de aplicação da hierarquia dos resíduos, sendo que a prevenção da geração deve ser o foco dentro de qualquer processo. Seguida do reuso dos resíduos gerados e o último dos Rs é a reciclagem. Após a reciclagem, na parte inferior da pirâmide estão as outras formas de disposição de resíduos, sendo elas comumente, reaproveitamento energético e aterro sanitário ou industrial.

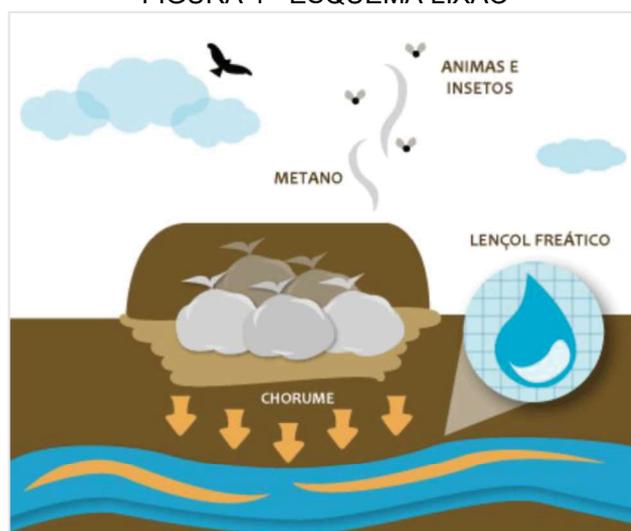


Fonte: Adaptado de (GHARFALKAR et al., 2015).

Para aqueles resíduos onde a prevenção da geração não é possível, é indispensável conhecer a sua fonte de geração para se entender as suas características, sua composição química, classificações e possíveis tratamentos e destinos. A maior parte dos resíduos sólidos, principalmente os gerados em grandes centros urbanos, possuem características heterogêneas o que pode dificultar muito as etapas de tratamento e destinação (ZHANG et al., 2022).

Realizar o correto manejo dos resíduos sejam eles urbanos ou industriais é um desafio diário para o poder público e setor privado, pois muitos recursos são alocados para a correta realização do tratamento e disposição final dos resíduos. Aqueles que não possuem correto tratamento e ainda são destinados de forma inadequada em lixões ou aterros controlados, são responsáveis pela contaminação do solo, rios e águas subterrâneas (FIGURA 4 e FIGURA 5) (ZHANG et al., 2022).

FIGURA 4 - ESQUEMA LIXÃO



Fonte: Ecod Desenvolvimento (2010).

FIGURA 5 - ESQUEMA ATERRO CONTROLADO



Fonte: Ecod Desenvolvimento (2010).

Os aterros sanitários por sua vez, possuem controles para minimização dos impactos ambientais, porém ainda representam um passivo significativo por ocuparem áreas extensas e necessitarem de acompanhamento rigoroso para a garantia da proteção ambiental (FIGURA 6).

FIGURA 6 - ESQUEMA ATERRO SANITÁRIO



Fonte: Ecod Desenvolvimento (2010).

### 2.3.2 Gestão Integrada e Gerenciamento Sustentável dos Resíduos Sólidos

Neste contexto, dez anos após o início deste século, o Brasil produziu um instrumento legal para estabelecer a sustentabilidade ambiental da gestão de Resíduos Sólidos. Assim a busca por qualidade ambiental no âmbito do gerenciamento de resíduos iniciou-se em 2010, com a Instituição da Lei nº12.305/10, a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Este é um marco regulatório com uma visão inovadora para a gestão nacional, trazendo à tona a responsabilidade compartilhada sobre a gestão dos resíduos sólidos, sendo ela dividida entre o poder público, as empresas e a população (BOHANA et al., 2021).

Ramos (2021) define a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) como sendo um conjunto de diretrizes, objetivos, princípios, instrumentos, metas e ações a serem adotadas pelo Poder Público e privado com um único objetivo em comum criar uma gestão integrada de resíduos que seja eficiente e garanta o manejo adequado destes.

A PNRS apresenta a necessidade de se tratar a problemática dos resíduos sólidos no Brasil com uma visão sistêmica e sustentável, considerando variáveis ambientais, sociais, econômicas, tecnológicas e levando em consideração questões de saúde pública envolvidas no gerenciamento de resíduos. Além de tratar o resíduo como um bem econômico e potencial fonte de renda para inúmeros trabalhadores brasileiros (FIGUEIREDO et al., 2020).

Porém, segundo Maiello et al., (2018) a grande dificuldade em implementar as ferramentas presentes na PNRS está na integração entre as entidades federativas responsáveis pela elaboração e aprovação destas leis de cunho nacional e as entidades executoras. Pois existe uma dificuldade grande por parte das entidades em coordenar atividades organizadas e viabilizar as ações previstas na PNRS.

#### 2.3.4 Destinação de Resíduos Industriais

Os processos industriais possuem papel fundamental no desenvolvimento da sociedade como um todo, com o desenvolvimento de novos produtos e serviços, assim como novas tecnologias que melhoraram muito a qualidade perspectiva de vida de uma forma geral (SAKURAI, 2018).

Para Zaman e Lehman (2013) os processos industriais possuem severas ineficiências e os resíduos gerados precisam ser tratados e destinados de forma a não causar danos ao meio ambiente e a sociedade.

A maior cobrança dos órgãos ambientais para o cumprimento legal por parte do poder privado corrobora com uma maior fiscalização das formas de destinação dos resíduos gerados em processos produtivos industriais e comerciais. Em todos os processos de licenciamento ambiental seja em esfera federal, estadual ou municipal, são exigidas as comprovações de correta destinação de resíduos (SOBRINHO et al., 2020).

Assim como a elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PGRCC) e Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), e seus respectivos relatórios de acompanhamento. São ferramentas estabelecidas pela PNRS e por legislações estaduais e municipais que auxiliam o poder público na fiscalização da correta destinação destes resíduos, uma vez que de acordo com a PNRS todos os geradores de resíduos devem elaborar e manter seus Planos atualizados (BRASIL, 2010).

As formas de destinação de resíduos mais utilizadas pelas empresas no Brasil são a incineração sem reaproveitamento energético, o coprocessamento em fornos de cimento, a reciclagem e a disposição em aterros industriais. A definição da

destinação adequada dos resíduos se baseia na norma NBR 10.004 (PHILIPPI et al., 2004).

De acordo com a NBR 10.004, os resíduos precisam ser classificados das seguintes formas (ABNT, 2004).

- Classe I: São considerados os resíduos perigosos, que após testes e ensaios de laboratório possuem ao menos uma das seguintes características: Inflamabilidade; corrosividade; reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- Classe II: São os resíduos não perigosos, que após os ensaios e testes de laboratório não apresentaram nenhuma das características mencionadas acima.
  - Classe II A: São os resíduos chamados não perigosos não inertes, em ensaios de laboratório apresentou características de solubilidade, biodegradabilidade e combustibilidade.
  - Classe II B: São os resíduos não perigosos inertes. Estes resíduos em ensaios de laboratório não apresentam nenhuma característica de solubilidade.

A caracterização dos resíduos é importante para que as empresas possam definir a melhor forma de destinar cada tipo de resíduo. Vários resíduos específicos já estão previamente classificados pela norma, sem ser necessário a realização de ensaios de laboratório (ABNT, 2004).

No estado do Paraná em específico, existe uma legislação que trata sobre os processos de obtenção de Autorização Ambiental para destinação de resíduos. Esta legislação limita o envio de determinados resíduos com potencial energético para aterros industriais, respeitando o que prevê a PNRS em seu artigo 7°. Este artigo estabelece que os resíduos sólidos perigosos que possuem características de inflamabilidade devem ser enviados para reaproveitamento energético em não destinados em aterros (BRASIL. Instituto Água e Terra, 2019).

A Portaria 212 de 2019 do Instituto Água e Terra do estado do Paraná também menciona quais são os resíduos que precisam de Autorização Ambiental para destinação final, garantindo que as destinações para coprocessamento, envio de resíduos industriais para aterros, tratamento e a reciclagem de alguns materiais, como lâmpadas fluorescentes passem por uma avaliação de toda a documentação do gerador e do destinador. Esta mesma portaria proíbe a destinação de resíduos vindos de outros estados em aterros no Paraná.

## 2.4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

### 2.4.1 Breve Histórico dos Estudos de ACV

Por muito tempo a gestão ambiental em indústrias se baseou nos aspectos e impactos gerados por suas emissões, consumos e geração de resíduos de uma maneira limitada a como isso afetava sua própria operação e, eventualmente seu entorno. Essa abordagem aplicava o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), Planejar-Desenvolver-Conferir-Atuar e sempre envolveu custos altos para processos de controles ambientais e a destinação de resíduos gerados em processos industriais (LÖFGREN et al., 2011).

Mais recentemente, segundo Guinée (2011), os primeiros estudos aplicando a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) remetem aos anos 60 e 70, apesar de ainda não atribuírem o nome de ACV e sim *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). O primeiro estudo foi realizado pelo Instituto de Pesquisa do Centro-Oeste dos Estados Unidos para a empresa Coca Cola em 1969 com o objetivo de quantificar os recursos requeridos, as emissões e os resíduos gerados provenientes do processo de manufatura de garrafas. Infelizmente, os resultados deste estudo não foram divulgados ao público.

O pensamento do ciclo de vida surge com a necessidade de se elaborar sistemas de manufatura “mais verdes” e eco eficientes, bem como forma de se comparar produtos e serviços em seu desempenho ambiental. Pensando não apenas nos impactos localizados derivados dos processos produtivos, mas também em qual a responsabilidade dos fabricantes com relação a toda a cadeia afetada pelo produto ou serviço ao longo de seu ciclo de vida, ou seja, *cradle to grave*, em português do berço ao túmulo (LÖFGREN et al., 2011).

### 2.4.2 Metodologia e Estruturação da ACV

A ACV é uma técnica onde se avaliam as entradas (demandas de energia, de água e de matérias-primas) e saídas (emissões gasosas, resíduos e efluentes) e para estimar potenciais impactos ambientais causados por um produto ou serviço em todo o ciclo de vida. Estas informações são de extrema importância para melhoria de

produtos e serviços, planejamento estratégico de empresas, elaboração de políticas públicas e até mesmo para rotulagem ambiental e estratégias de marketing de organizações (ABNT, 2014).

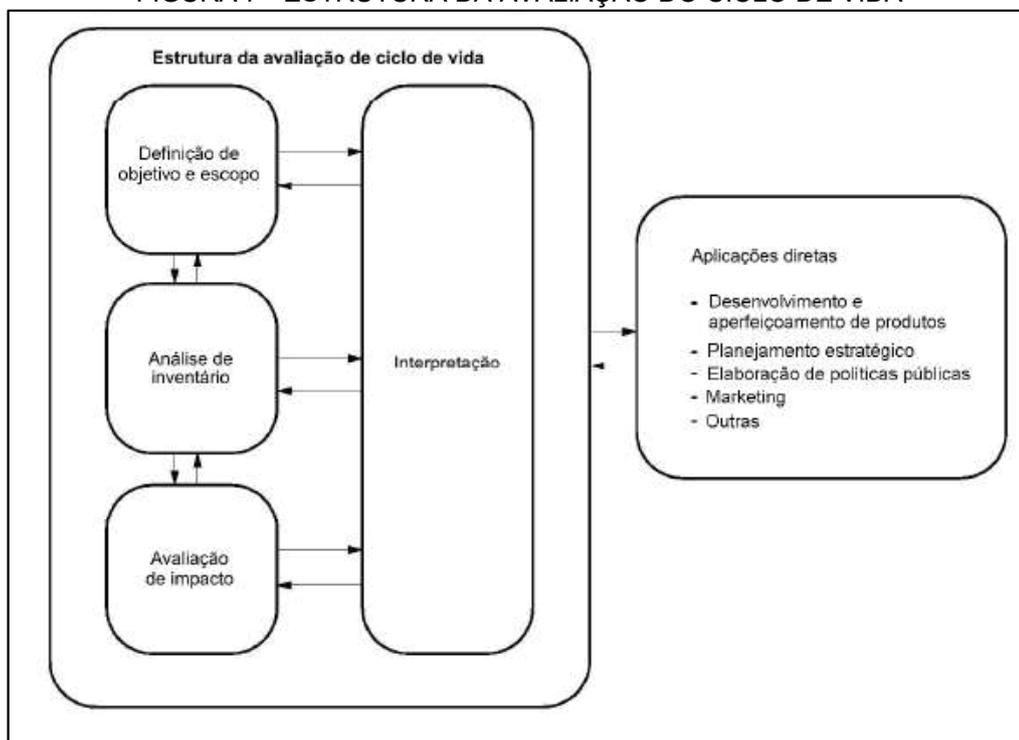
A ACV é normatizada no Brasil pelas Normas da ABNT NBR ISO 14.040:2014 e NBR ISO 14.044:2014. Estas normas trazem as informações e estruturas necessárias para a elaboração de um estudo de ACV, assim como os requisitos e orientações para sua correta implementação e análise crítica dos resultados.

Conforme descrito na NBR ISO 14:040:2014, um estudo de ACV é composto por 4 fases:

- Definição de objetivo e escopo (propósito);
- Análise de inventário (dados de entrada e de saída);
- Avaliação de impactos (avaliação dos potenciais efeitos deletérios);
- Interpretação;

As interações entre as fases previstas pela NBR ISO 14:040:2014 (FIGURA 7) podem ser realizadas para adequação do estudo. Assim, é possível verificar a interpretação correta do analista em todas as fases do estudo de para que os dados sejam manipulados conforme exige a normatização vigente (ABNT, 2014).

FIGURA 7 - ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA



FONTE: ABNT (2014).

A definição de um escopo compreensivo é de extrema importância para que fiquem claras quais são as fronteiras do sistema a ser analisado. Assim, é possível estabelecer uma relação entre as entradas e saídas dos fluxos relacionados a determinado produto ou serviço. Da mesma forma a definição da unidade funcional a ser adotada para a elaboração do estudo é de extrema importância (FINNVEDEN et al., 2009).

Segundo Piekarski et al., (2012), a unidade funcional define o serviço, ou uma função do sistema de produtos avaliados, seu desempenho é quantificado para que seja uma unidade de referência e comparação entre sistemas.

Para Finnveden et al., (2009), a fase de análise de inventário consiste no levantamento de todas as entradas, considerados recursos e as saídas, consideradas as emissões, efluentes e resíduos, relacionados ao processo de ciclo de vida correspondentes com a unidade funcional escolhida. Já etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida é determinante para avaliar a magnitude, significância e o potencial de impacto que o sistema estudado oferece.

De acordo com Zanghelini et al., (2016) existem duas formas distintas de abordagem de ACV, a atribucional e a consequential. A atribucional é direcionada ao conhecimento dos impactos do ciclo de vida de um produto ou serviço e a identificar quais são os pontos e elementos críticos dentro do sistema analisado. A consequential está relacionada aos impactos ambientais gerados por mudanças no sistema do produto ou serviço estudado.

Após a realização do levantamento do inventário a etapa seguinte é realizar a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida. Sendo esta considerada a terceira fase da ACV. Nesta fase são avaliados os resultados apontados pelo inventário por meio de métodos de AICV. Cada método de AICV considera diferentes categorias de impacto em sua modelagem de caracterização, sendo necessária a realização de uma análise para aplicação ao estudo desejado, qual método e categorias de impacto são necessários para o sistema de produto ou serviço (MENDES et al., 2015).

De acordo com Mendes et al., (2015), esses métodos se diferenciam pela de origem ou nível de avaliação do impacto, *midpoint* ou *endpoint*. O nível de avaliação de *midpoint* analisa o impacto ao longo da cadeia de causa e efeito, antes que este chegue ao ponto final. Já os indicadores de *endpoint* avaliam os impactos no final da cadeia de causa e efeito, o que aumenta significativamente as incertezas dos

resultados. Também podem ser diferenciados pelas categorias de impacto associadas ao método e a abrangência de aplicação, que pode ser global, continental e nacional.

#### 2.4.3 Metodologia aplicada na ACV

Uma das grandes dificuldades encontradas nos métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida é a abrangência de aplicação de tais métodos, pois muitos métodos possuem fatores de caracterização apenas para o continente específico ou país de origem daquele método. Não levando em consideração as variações ambientais em outras regiões do globo (MENDES, 2015).

O Recipe é um dos métodos de AICV, desenvolvido pela Radboud University Nijmegen, pelo centro de pesquisa CML da Universidade de Leiden e pela empresa Pré Consults. Este método adapta as abordagens dos fatores de caracterização de *midpoint* e *endpoint*. Os fatores de caracterização de *midpoint* avaliam os impactos intermediários que contribuirão para os danos finais, já os fatores de *endpoint* representam os impactos associados aos danos finais (PIEKARSKI et al., 2012).

Para Dekker et al., (2020), o método Recipe possibilita uma implementação adaptada dos caminhos de causa e de efeito para possibilitar o cálculo dos níveis de avaliação de impacto de fatores de caracterização *midpoint* e *endpoint*. Uma revisão em 2016 diminuiu as deficiências do método com uma abrangência localizada e a atualização aumentou a abrangência dos fatores de caracterização para nível global (QUADRO 1).

QUADRO 1 – ABRANGÊNCIA DE *MIDPOINT* FC RECIPE 2008 X 2016

	Recipe 2008	Recipe 2016
Global	Aquecimento global Destruição da camada de ozônio Consumo de recursos naturais	Aquecimento global Depleção da camada de ozônio Radiação ionizante Danos à saúde humana pela formação de ozônio Formação de material particulado Danos ao ecossistema pela formação de ozônio Acidificação terrestre Eutrofização de Água doce Eutrofização de água marinha Ecotoxicidade terrestre Ecotoxicidade de água doce Ecotoxicidade de água marinha Toxicidade carcinogênica Toxicidade não carcinogênica Transformação do solo Ocupação do solo Esgotamento de recursos minerais Escassez de combustíveis fósseis Consumo de água
Regional	Demais categorias aplicadas	Formação de ozônio fotoquímico Material particulado Acidificação terrestre Eutrofização de água doce Consumo de água
	*Fatores de caracterização levando em consideração as condições europeias (regional)	*Fatores de caracterização para países presentes nos 6 continentes (regional)
Fonte:	Mendes et al., (2013).	National Institute for Public Health and the Environment (2018)

Fonte: Adaptado pela autora (2022)

Segundo Goedkoop (2009), as categorias de impacto abordadas pelo método Recipe são:

*Midpoint*: Aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização aquática de água doce, eutrofização aquática marinha, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, radiação ionizante, uso de solo agrícola, uso do solo urbano, transformação de terra natural, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos minerais e esgotamento de recursos de água doce.

*Endpoint*: Danos à saúde humana, danos à diversidade do ecossistema, danos à disponibilidade de recursos.

Os fatores de caracterização (*midpoint* e *endpoint*) são derivados dos modelos de caracterização e são utilizados para converter o resultado da análise do inventário na unidade comum do indicador da categoria de impacto avaliada (ABNT, 2014).

Tendo então os resultados que permitem interpretação conforme cada categoria de impacto selecionada (DEKKER et al., 2020).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A Avaliação de Ciclo de Vida do presente estudo será realizada conforme as definições e diretrizes apresentadas pela NBR ISO 14040:2014 Gestão ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura (ABNT, 2014), NBR ISO 14044:2014 Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações (ABNT, 2014). O foco principal desta ACV será avaliar os impactos relacionados ao gerenciamento de resíduos de plástico e de metal gerados por uma indústria de eletrodomésticos.

#### 3.1 DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

A etapa de definição do objetivo e escopo dentro da avaliação do ciclo de vida deve adequar-se a todas as necessidades de mudanças durante o período de desenvolvimento do projeto. Portanto, para o presente estudo o objetivo e escopo foram adequados ao longo dos levantamentos das etapas de inventário e avaliação do impacto do ciclo de vida conforme prevê a NBR ISO 14.040:2014.

##### 3.1.1 Sistema de Produto e Processo

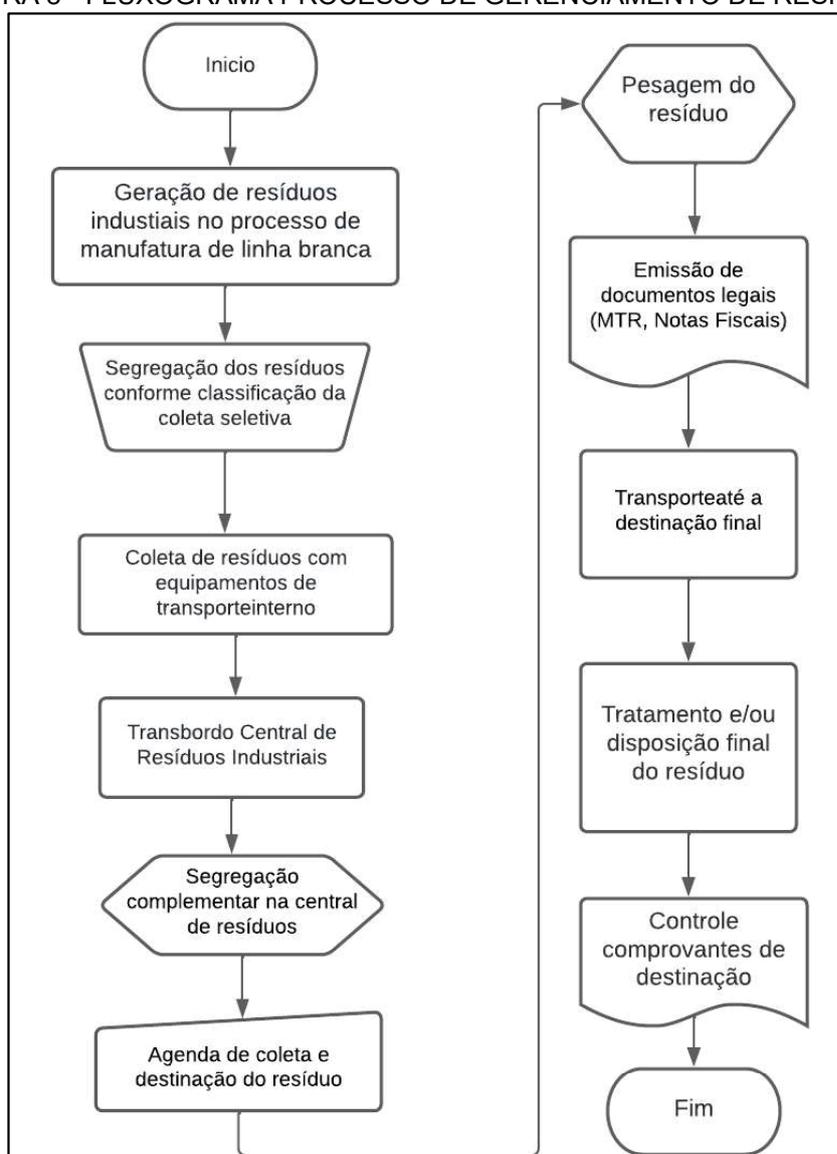
###### 3.1.1.1 Caracterização da área de estudo

O empreendimento objeto do estudo está localizado no município de Curitiba e faz parte de um grupo multinacional sueco, não sendo possível a divulgação do nome do empreendimento. A atividade do empreendimento é a manufatura dos produtos denominados linha branca, sendo seus principais produtos refrigeradores, freezers horizontais e verticais e frigobares. A empresa atua na região desde 1972 e possui atualmente cerca de 4 mil funcionários entre diretos e terceirizados, sendo considerada uma empresa de grande porte. A área construída utilizada para realização de todo o processo produtivo é aproximadamente de 96.000 m<sup>2</sup>, dividido em 2 fábricas dentro do mesmo complexo industrial.

### 3.1.1.2 Processos de gerenciamento de resíduos

Os resíduos gerados no processo de manufatura dos produtos de linha branca da unidade são manejados conforme as etapas descritas no Fluxograma presente na FIGURA 8. O processo de gerenciamento pode ser dividido em 4 etapas principais: 1) coleta e transporte interno de resíduos. 2) Segregação e armazenamento temporário de resíduos. 3) Coleta e transporte externo. 4) Destinação final.

FIGURA 8 - FLUXOGRAMA PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS.



FONTE: A autora (2022).

A área de Central de Resíduos Industriais conta com a mão de obra de 29 pessoas e possui 2 turnos de operação. Esta equipe é responsável por todo o processo de manejo de resíduos até a o envio a destinação final.

### 3.1.2 Metodologia de Caracterização

O método de AICV escolhido foi o Recipe 2016 *Midpoint* (H), por possuir fatores de caracterização de *midpoint* com abrangência global e regional. A abordagem escolhida foi a atribucional, por ser a mais aplicada aos resultados pretendidos para o presente estudo. Considerando para isto que se trata da situação atual do sistema.

O Software utilizado para as simulações foi o openLCA por ser um software de código aberto e gratuito, o qual permite a utilização da base de dados Idemat com a obtenção de uma licença estudante. A base de dados Ecoinvent não possui licença estudante e valores tabelados por tkm fornecidos pelo Instituto 17 que desenvolve pesquisas de ACV e possui a licença. Os cálculos foram realizados em planilha Excel disponibilizada pela UFPR.

#### 3.1.2.1 Unidade funcional e fluxo de referência

A unidade funcional adotada para o presente estudo é o gerenciamento de 1 t de resíduos recicláveis de plástico e metal gerados para a manufatura de 530 produtos de linha branca (TABELA 1). A unidade funcional (UF) é composta por um conjunto de 20 resíduos, de acordo com a classificação interna da empresa.

TABELA 1 - CÁLCULO UF

Ano	Produtos	Resíduos
2018	1 783 400	3 152,08
2019	2 013 667	3 920,19
2020	2 101 365	4 093,00
2021	2 170 349	4 048,61
<b>Total</b>	<b>8 068 781</b>	<b>15 214</b>
<b>Prod/UF</b>	<b>530</b>	

Fonte: A Autora (2022).

A Equação 1 foi utilizada para a obtenção dos valores para o fluxo de referência (FR) de cada um dos resíduos representados dentro da UF.

$$FR = \frac{Qt \text{ do resíduo específico}}{Qt \text{ total dos resíduos}} \quad (1)$$

Onde:

FR = Fluxo de referência.

Qt do resíduo específico = Peso total do resíduo específico.

Qt total dos resíduos = O peso total dos resíduos de interesse no período estudado.

A massa relativa ao FR de cada tipo de resíduo reciclável depende da sua importância quantitativa relativa à UF escolhida (gerenciamento de 1 t de resíduos de plástico e metal gerados para a manufatura de 530 produtos de linha branca). Logo, a soma de todos os fluxos de referência é igual à UF (1 t), considerando que a avaliação dos impactos do ciclo de vida será realizada considerando o conjunto de resíduos enviados para a reciclagem.

A distância percorrida até a sua destinação influencia no processo de gerenciamento dos RS da empresa. Logo, o produto do valor de massa (t) pelo valor da distância (quilômetros) resulta no valor de t/quilometro (tkm), unidade utilizada para determinar os impactos no inventário de transporte, exemplificado pela Equação 2.

$$tkm = FR (t) * Distância (km) (2)$$

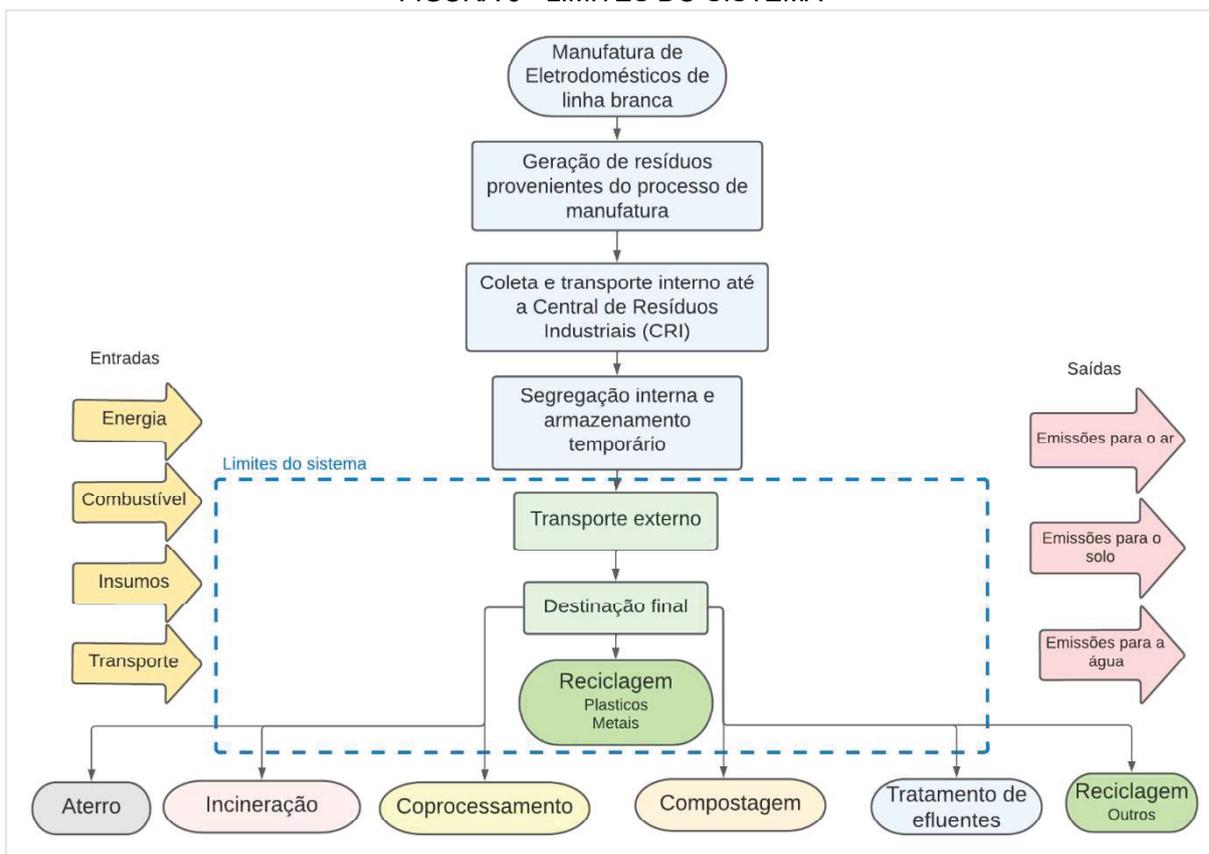
Onde:

FR = Fluxo de referência ou massa relativa (t)

### 3.1.2.2 Fronteiras do sistema

Considerando que o foco da ACV é o processo de gerenciamento dos resíduos recicláveis de plástico e metal, as fronteiras para este estudo se aplicam ao momento em que o resíduo sai do ponto de armazenamento temporário até sua destinação final (FIGURA 9).

FIGURA 9 - LIMITES DO SISTEMA



FONTE: A autora (2022).

### 3.1.2.3 Procedimentos de alocação

O procedimento de alocação utilizado para o cálculo do transporte da base de dados Ecoinvent foi o APOS (*Allocation at the point of substitution*), este sistema utiliza a expansão dos sistemas de produtos para evitar a alocação dentro dos sistemas de tratamento. A coleta e transporte de resíduos sólidos é uma das atividades mapeadas como exemplo para a utilização desta forma de alocação, justamente por que ocorrem dentro de sistemas de tratamento.

Para a base de dados Idemat (etapa de destinação), não foi adotada nenhuma forma de alocação, pois não foram considerados subprodutos do sistema estudado.

### 3.1.2.4 Categorias de impacto

As categorias de impacto *midpoint* analisadas dentro do AICV estão relacionadas a seguir: Formação de material particulado, esgotamento de recursos fósseis, ecotoxicidade em água doce, eutrofização em água doce, aquecimento

global, toxicidade carcinogênica e não carcinogênica em humanos, radiação ionizante, ocupação de solo, ecotoxicidade marinha, eutrofização marinha, esgotamento de recursos minerais, formação de ozônio com impacto na saúde humana, formação de ozônio em ecossistema terrestre, depleção de ozônio estratosférico, acidificação terrestre, ecotoxicidade terrestre e consumo de água.

### 3.1.2.5 Dados de estudo

A coleta de dados primários (QUADRO 2), para elaboração deste estudo foi realizada por meio de visitas técnicas ao local para levantamento de informações primárias relativas ao processo, por reuniões e conversas individuais com os responsáveis de cada área para entendimento dos fluxos do processo. As informações relativas às quantidades de resíduos foram fornecidas pela empresa objeto de estudo por meio de planilhas de controle interno. Esses dados são utilizados para todos os reportes legais e corporativos. Já os dados secundários (QUADRO 2), foram em bases de dados de Avaliação de Ciclo de Vida tais como Idemat e Ecoinvent.

QUADRO 2 - CARACTERÍSTICA DOS DADOS E FONTES DE SUA OBTENÇÃO

Fluxo	Dados	Fonte
Transporte externo	Quantidades de resíduos	Primário <sup>1</sup>
	Quilometragem percorrida	Primário <sup>1</sup>
	Combustível consumido	Secundário <sup>2</sup> (Ecoinvent)
	Emissões Atmosféricas	Secundário <sup>2</sup> (Ecoinvent)
	Desgastes de pneu	Secundário <sup>2</sup> (Ecoinvent)
	Desgastes de freios	Secundário <sup>2</sup> (Ecoinvent)
	Resíduos relativos ao desgaste das vias	Secundário <sup>2</sup> (Ecoinvent)
Destinação final	Quantidades de resíduos	Primário <sup>1</sup>
	Consumo de energia elétrica	Secundário <sup>2</sup> (Idemat)
	Consumo de combustíveis	Secundário <sup>2</sup> (Idemat)
	Emissões para o ar	Secundário <sup>2</sup> (Idemat)
	Emissões para água	Secundário <sup>2</sup> (Idemat)
	Emissões para o solo	Secundário <sup>2</sup> (Idemat)
	Resíduos	Secundário <sup>2</sup> (Idemat)

FONTE: A autora (2022).

Estas bases de dados foram escolhidas baseando-se na abrangência de dados relacionados ao processo em análise. O Ecoinvent é uma base de dados que

possui ampla cobertura dos impactos associados ao transporte de maneira geral e possui dados relativos à reciclagem, porém a contabilização dos resultados considera apenas os ganhos ambientais destes processos. Já o Idemat é uma base de dados que oferece uma avaliação mais completa, além dos ganhos ele também contabiliza os impactos associados às atividades de reciclagem de resíduos.

As limitações deste estudo estão ligadas ao fato de os dados do Idemat não serem regionalizados para a situação brasileira, pois hoje não existem bases de dados que considerem a realidade brasileira para o cálculo de impactos da reciclagem de resíduos. Desta forma, os dados utilizados para entradas e saídas dos processos de reciclagem possuem fontes de países diversos, como Estados Unidos, China e países da Europa. O método escolhido para a avaliação do impacto, Recipe 2016 possui fatores de caracterização globais para todas as categorias de impacto avaliadas neste estudo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

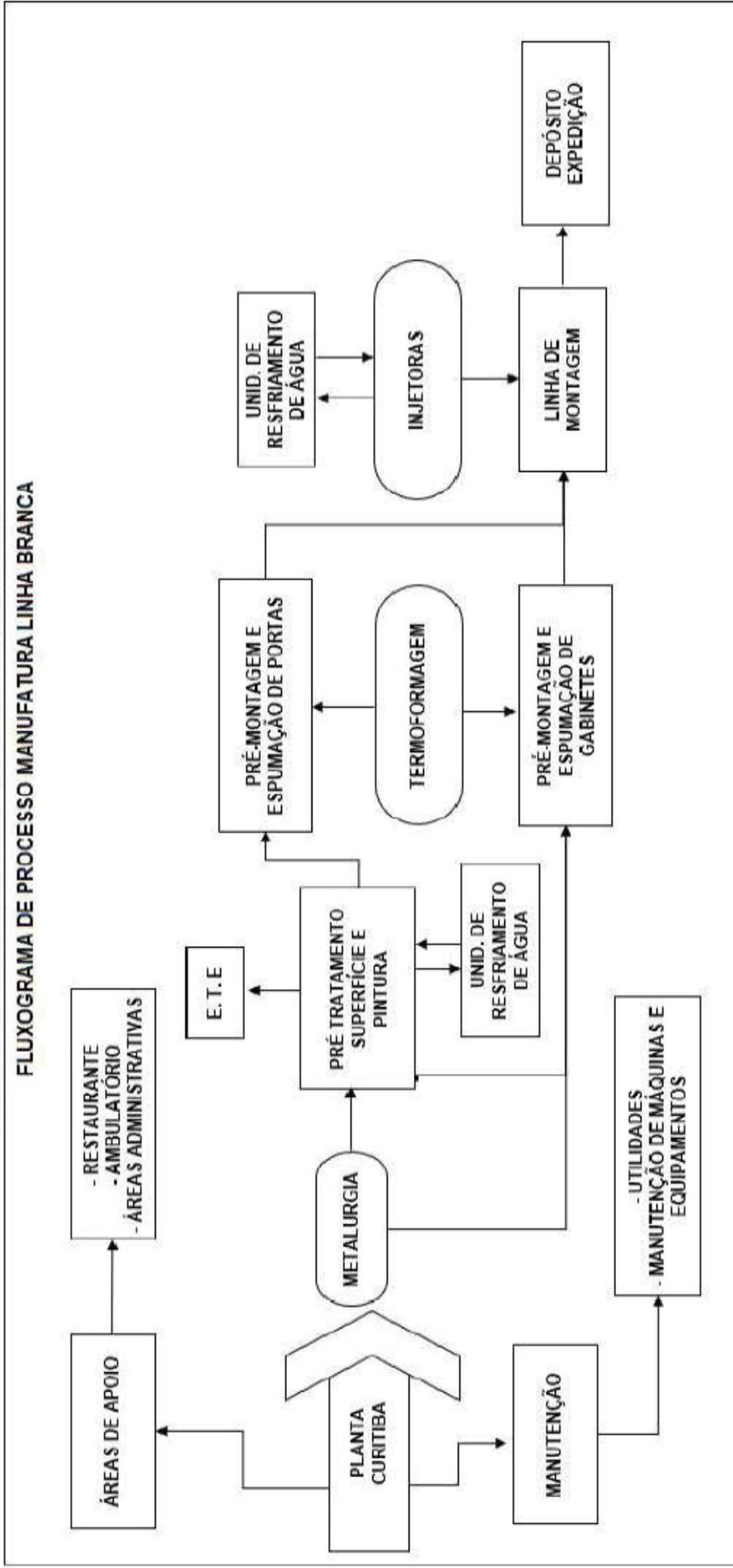
### 4.1 MAPEAMENTO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

As visitas técnicas ocorreram no segundo semestre de 2021 na unidade objeto do estudo. As informações e os dados fornecidos pelos colaboradores da empresa para elaboração da pesquisa foram enviados no período de julho de 2021 a fevereiro de 2022. O processo de gerenciamento de resíduos e todas as suas etapas foram avaliados *in loco*, e os dados referentes a quantidades, consumos, destinação dos resíduos e demais informações necessárias para elaboração do estudo foram compartilhadas por e-mail e em reuniões com a equipe responsável pelo gerenciamento dos resíduos.

O processo de manufatura de produtos de linha branca é dividido entre áreas tecnológicas e áreas de montagem. As tecnológicas são as áreas de metalurgia, pintura, termoformagem e injeção plásticas, já as áreas de montagem são compostas pelas áreas de pré-montagem e espumação de gabinetes e portas e pelas 5 linhas de montagem (FIGURA 10).

Todos os processos relacionados à manufatura geram resíduos que precisam ser gerenciados. A característica de cada resíduo gerado irá depender das atividades do local de geração como, por exemplo, os resíduos relacionados ao processo produtivo são gerados nas áreas tecnológicas e de montagem. Já as áreas de apoio e administrativas são responsáveis pela geração de resíduos gerais, não necessariamente ligados ao processo de manufatura de produtos.

FIGURA 10 - FLUXOGRAMA PROCESSO DE MANUFATURA



FONTE: A autora (2022).

## 4.1.2 Processos de Gerenciamento de Resíduos

### 4.1.2.1 Homologação de prestadores de serviços ambientais

Os fornecedores que atuam com transporte e destinação de resíduos são denominados prestadores de serviços ambientais (PSA). O processo de gerenciamento de resíduos se inicia na seleção e homologação de fornecedores para realização das atividades de transporte e destinação final. Isso ocorre para que seja garantido o atendimento integral da legislação ambiental vigente. O processo de homologação é pautado em um procedimento interno denominado PQ 4.6.1 - Desenvolvimento e Manutenção de Fornecedores, onde estão previstas as etapas da homologação e os documentos necessários para cada tipo de prestador.

A homologação é iniciada através do contato comercial com o setor de Compras, após isso são enviados os documentos ambientais previstos no QUADRO 3, para análise preliminar, após prévia avaliação pelo setor Ambiental da empresa é agendada a auditoria de homologação, que deve ser realizada *in loco* na empresa que irá destinar ou transportar os resíduos.

QUADRO 3 - HOMOLOGAÇÃO DE PRESTADORES DE SERVIÇOS

Tipo de PSA	Documentos
Destinador de Resíduos	a) Documentação: Licenciamento Ambiental, Cadastro técnico federal IBAMA, Alvará de Funcionamento e Certificado de vistoria do Corpo de Bombeiros b) Auditoria de homologação e monitoramento; c) Autoavaliação Ambiental; d) Contrato assinado.
Transportador de Resíduos	a) Documentação: Licenciamento Ambiental, Cadastro técnico federal IBAMA, Alvará de Funcionamento e Certificado de vistoria do Corpo de Bombeiros b) Auditoria de homologação e monitoramento; c) Autoavaliação Ambiental; d) Contrato assinado; e) Plano de Atendimento a Emergência, quando tratar-se de transporte de resíduos perigosos classe I; f) CIV - Certificado de Inspeção Veicular; CIPP - Certificado de Inspeção para o Transporte de Produtos Perigosos; Certificado de Registro (quando aplicável) e Treinamento do Motorista, quando tratar-se de transporte de resíduos perigosos classe I.

FONTE: A autora (2022). Adaptado do PQ 4.6.1 - Desenvolvimento e Manutenção de Fornecedores.  
PSA = Prestador de Serviço Ambiental

Nesta auditoria de homologação são avaliadas todas as condicionantes ambientais previstas no licenciamento do possível PSA. Assim como as condições físicas e de organização do local, todos os comprovantes e relatórios de

monitoramento e controle ambiental. Se for verificado durante uma auditoria que existem não conformidades e indícios de não capacidade de atendimento legal ou de exigências da empresa, o PSA não é homologado. A assinatura de contrato e finalização das propostas comerciais só é realizada mediante formalização da homologação por parte do setor Ambiental.

Todos os prestadores homologados que realizam atividades para a empresa recebem anualmente uma auditoria de manutenção, para que os pontos sejam verificados com periodicidade. Ao longo do ano também são controlados os documentos com base em sua data de validade via sistema de armazenamento de documentos. Atualmente o processo de gerenciamento de resíduos conta com 26 PSAs homologados, entre transportadores e destinadores finais.

#### 4.1.2.2 Geração de resíduos

Para a padronização do processo de gerenciamento de resíduos a unidade possui implementada uma Instrução Ambiental denominada IA 4.4.6.14 – Controle de Resíduos Gerais, nela estão previstas todas as definições de classificação e as orientações sobre como o processo de gerenciamento de resíduos deve ser realizado dentro da unidade.

Os resíduos gerados na unidade são divididos basicamente em 7 grupos principais. Conforme QUADRO 4. Essa categorização é realizada porque cada resíduo é encaminhado para um tipo de destinação específica. Dentro de cada um destes grupos estão diferenciados os 57 códigos do conjunto total de resíduos, incluindo-se os 20 códigos que compõem a UF deste estudo.

QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO INTERNA DOS RESÍDUOS

TIPOS DE RESÍDUOS	DESCRIÇÃO
Recicláveis ou Reutilizáveis	São considerados recicláveis ou reutilizáveis, os resíduos que podem ser comercializados. Estes resíduos, após transformações físicas ou químicas, serão utilizados como matéria-prima para fabricação de novos produtos. No caso de embalagens de produtos químicos (bombonas), estas são devolvidas ao fornecedor ou vendidas e reutilizadas sem transformações físicas ou químicas. O mesmo ocorre com pallets de madeira e aramados que são devolvidos.
Industriais Diversos Contaminados	Todos os resíduos que possuem contaminação de qualquer produto químico, Exemplo: óleo, tinta, solvente, álcool e graxa. Ou aqueles resíduos que necessitam de um tratamento e destinação final adequados devido ao risco de contaminação ambiental, Exemplo: embalagens de químicos (que não possuem retorno ao fornecedor), papelão contaminado com óleo, plásticos contaminados etc.
Industriais Diversos (Não Recicláveis)	Todos os resíduos provenientes da fábrica que não são passíveis de reciclagem, porém não possuem contaminação. Exemplo: adesivos em geral e fitas.
Não Recicláveis provenientes do Refeitório	Os resíduos gerais do refeitório, como recipientes de sobremesa com restos de comida, resíduos não passíveis de separação, embalagens de alimentos contendo sangue, guardanapos sujos.
Não Recicláveis provenientes dos Sanitários	Os resíduos de papéis dos sanitários não são passíveis de reciclagem.
Químicos Diversos	São os resíduos químicos diversos vencidos ou sem utilização que não são passíveis a reciclagem.
Resíduos de Serviços de Saúde	Resíduos provenientes dos atendimentos médico/hospitalares.

FONTE: A autora (2022). Adaptado IA 4.4.6.14 – Controle de Resíduos Gerais

Há ainda a classificação segundo sua característica de acordo com a NBR 10.004, onde:

- Resíduos Classe I – Perigosos: São resíduos que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- Resíduos Classe II – Não Perigosos
  - Resíduos Classe II A – Não Inertes: São resíduos que podem apresentar biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água ex. restos de alimento, papel madeira.
  - Resíduos Classe II B – Inertes: São resíduos que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor ex. vidro.

Todas as áreas são atendidas pelo fluxo de gerenciamento de resíduos. A maior parte dos resíduos gerados nos processos administrativos e fabris é

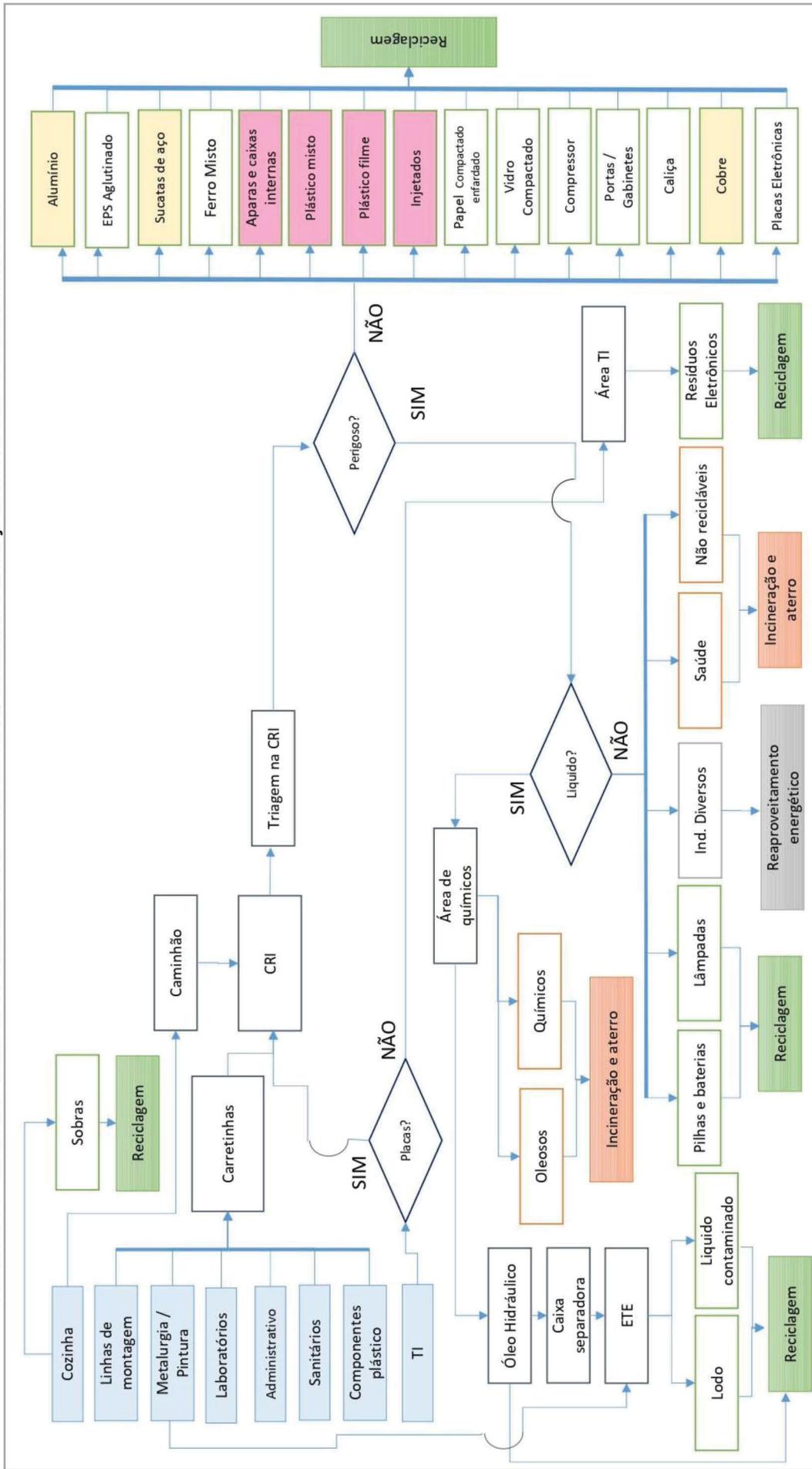
encaminhada para a Central de Resíduos industriais (CRI). Porém, alguns resíduos não são encaminhados para armazenamento na central devido a sua característica e local de geração. Esse é o caso dos resíduos de lodo de Estação de tratamento de efluentes (ETE) e os efluentes líquidos que são coletados diretamente na estação de tratamento.

Os resíduos de serviços de saúde (RSS) também são coletados diretamente no ambulatório, onde há uma área de expurgo que armazena da forma adequada estes resíduos. Os resíduos de sobras alimentares são coletados da mesma forma diretamente no restaurante da unidade, pois estes devem ser armazenados em câmaras frias até o momento da coleta.

O macrofluxo (FIGURA 11) exemplifica os caminhos de cada um dos resíduos gerados. Os resíduos dos retângulos verdes fazem parte do grupo dos resíduos recicláveis ou reutilizáveis, os resíduos em retângulos laranjas fazem parte dos grupos de não recicláveis (refeitório e sanitários), químicos diversos e resíduos de serviços de saúde, estes são encaminhados para incineração e posteriormente ao aterro. Já os retângulos cinzas compõem o grupo de Industriais Diversos (contaminados e não contaminados) que são encaminhados para reaproveitamento energético.

Os resíduos de plástico são gerados em sua maioria pelo processo de componentes plásticos (termoformagem e injetoras), porém dentro do processo produtivo as linhas de montagem também possuem geração. As áreas de apoio como refeitório e administrativo contribuem para a geração de resíduos de plástico misto, porém não foi possível estratificar esta contribuição. Os resíduos de sucata metálica são gerados em sua maioria pelo processo de metalurgia e pintura. Sendo que os resíduos de cobre e alumínio são gerados pelas linhas de montagem.

FIGURA 11 - MACROFLUXO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS PARA A PRODUÇÃO DE ITENS DE LINHA BRANCA



FONTE: A autora (2022)

#### 4.1.2.3 Coleta e transporte interno

Para que seja realizada de maneira correta a coleta dos resíduos a unidade mantém implementada uma Instrução Ambiental para a correta realização da coleta seletiva, a IA 4.4.6.6 – Coleta Seletiva. De acordo com esta Instrução cada área deve realizar a segregação prévia dos resíduos em seus contentores adequados, conforme sua classificação e tipo, conforme as cores estabelecidas pela Resolução Conama 275/05. Isso é aplicado para os resíduos com menor volume, como papel, plásticos, embalagens de produtos, EPIs, resíduos de varredura entre outros. Os contentores possuem identificação padrão de acordo com a sua cor, conforme a Resolução Conama 275/05 (FIGURA 12) (FIGURA 13). As etiquetas possuem exemplos de resíduos descritos para auxiliar os colaboradores na hora do descarte.

FIGURA 12 - IDENTIFICAÇÃO PADRÃO DE CONTENTORES DE RESÍDUOS



FONTE: IA 4.4.6.6 – Coleta Seletiva

FIGURA 13 - CONTENTORES DE RESÍDUOS



Fonte: A autora (2022).

A equipe da CRI é responsável pela retirada dos resíduos dos contentores e reposição dos sacos de lixo, que também respeitam as cores da coleta seletiva. Após a retirada dos sacos com os resíduos, eles são acondicionados nos carrinhos maiores de transporte (FIGURA 14) para que sejam encaminhados posteriormente para a CRI (Central de Resíduos Industriais).

FIGURA 14 - CARRINHOS DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS



Fonte: A autora (2022)

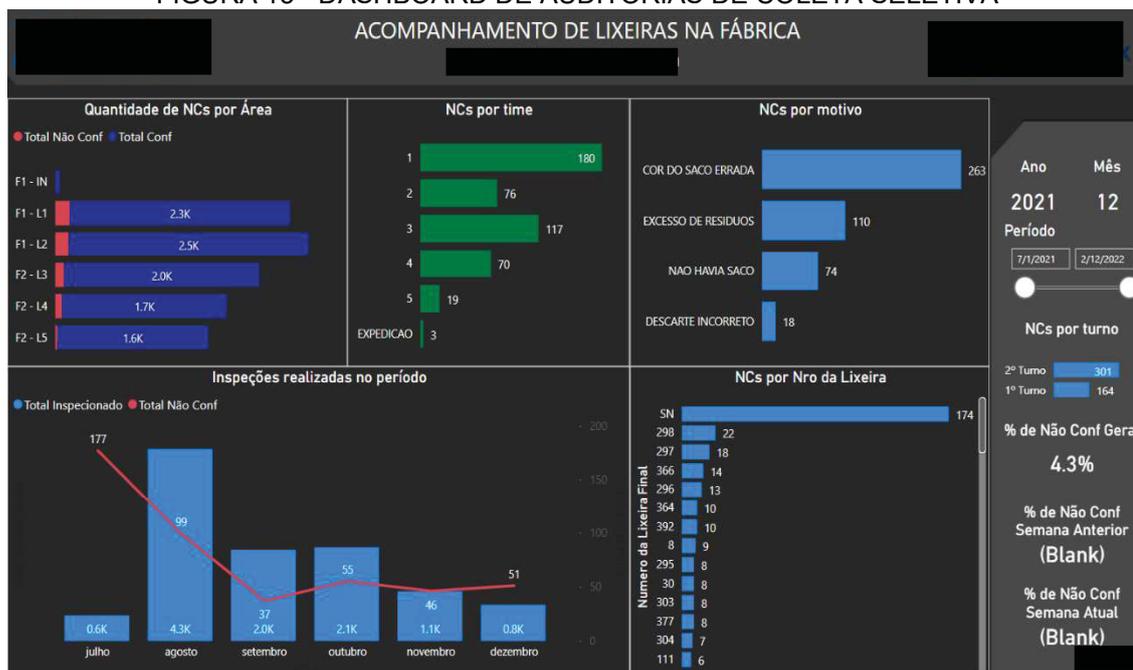
Os resíduos com maior volume como, por exemplo, os resíduos de plástico filme e sucatas metálicas são acondicionados pelos colaboradores de cada área diretamente nos carrinhos de resíduos. Este acondicionamento deve respeitar a capacidade dos carrinhos.

Para garantir a correta segregação dos resíduos nos pontos de geração, conforme a Instrução Ambiental vigente (IA 4.4.6.6 – Coleta Seletiva), uma auditoria é realizada tanto nos carrinhos de resíduos quanto nos contentores. Em todas as coletas realizadas são verificados quais os resíduos descartados em cada contentor e nos carrinhos de transporte. Nesta auditoria são apontadas as não conformidades relativas à má segregação dos resíduos, excesso de resíduos, sacos de lixo de cores divergentes e falta de saco de lixo. Essa verificação também é realizada nos carrinhos de sucata.

Para registro dos apontamentos são utilizados *tablets* para realizar de maneira digital a auditoria. Esses apontamentos alimentam uma base de dados que é utilizada para a criação de um *Dashboard* em *Power BI™* (um serviço de análise de negócios da Microsoft) para acompanhamento da efetividade da segregação de resíduos.

O *Dashboard* (FIGURA 15) gerado descreve os tipos de não conformidades encontradas, a área, o turno e o número de inspeções realizadas. Esses resultados são apresentados semanalmente em reunião com a gestão da unidade. As áreas que possuem maior quantidade de apontamentos devem tomar ações para redução das não conformidades (NC no *Dashboard*). Os treinamentos relativos à correta segregação também são criados baseando-se nos resultados de auditorias.

FIGURA 15 - DASHBOARD DE AUDITORIAS DE COLETA SELETIVA



FONTE: Microsoft Power Bi™

Há ainda uma diferenciação dentro do processo para qual tipo de carrinho deve ser utilizado para o transporte. Os carrinhos verdes (FIGURA 14), são utilizados para os resíduos gerais, já os considerados resíduos de sucata de produção são transportados para a CRI pelos carrinhos coloridos (FIGURA 16).

FIGURA 16 - CARRINHOS DE SUCATA



FONTE: A autora (2022).

Os resíduos considerados como sucata de produção são aqueles que por motivos de qualidade ou ineficiência de processos foram descartados pelas áreas de

manufatura como, por exemplo, portas de refrigerador, tampas de freezers, laterais, chapas, caixas internas, painéis elétricos entre outros tipos de sucata. Essa diferenciação ocorre devido à necessidade de baixa sistêmica desses itens antes do envio para descarte e descaracterização.

O equipamento de transporte destes resíduos também é mais reforçado devido ao peso ser maior do que os resíduos gerais. As áreas de montagem, metalurgia e pintura possuem cores específicas de carrinhos de sucata para melhor mapeamento das coletas e do material a ser baixado do sistema (FIGURA 17).

FIGURA 17 - CORES DE CARRINHOS DE SUCATA POR ÁREA

LINHA 1 E 2	Preto
LINHA 3 E 4	Cinza
LINHA 5	Amarelo
METAL / PINTURA	Vermelho

FONTE: A Autora (2022).

As áreas tecnológicas de injeção e termoformagem plásticas não dispõem de carrinhos de sucata próprios. As sucatas de peças plásticas injetadas são encaminhadas em caixas diretamente para a caçamba de armazenamento deste tipo de resíduo. As peças termoformadas denominadas sucatas de caixas internas, possuem um volume considerável sendo então necessário encaminhá-las diretamente a Central de Resíduos Industriais.

O processo de coleta e transporte interno de resíduos é feito com o auxílio de equipamentos de transporte, tais como rebocadores (FIGURA 18) e empilhadeiras elétricas (FIGURA 19) devido à complexidade do processo de manufatura e uma extensa área construída. Os rebocadores são utilizados para conexão com os carrinhos de transporte já mencionados e as empilhadeiras são utilizadas para encaminhar diretamente alguns resíduos de sucata.

FIGURA 18 - REBOCADOR ELÉTRICO COM CARRINHO DE RESÍDUOS



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 19 - EMPILHADEIRA ELÉTRICA COM GARFO GIRATÓRIO



FONTE: A autora (2022).

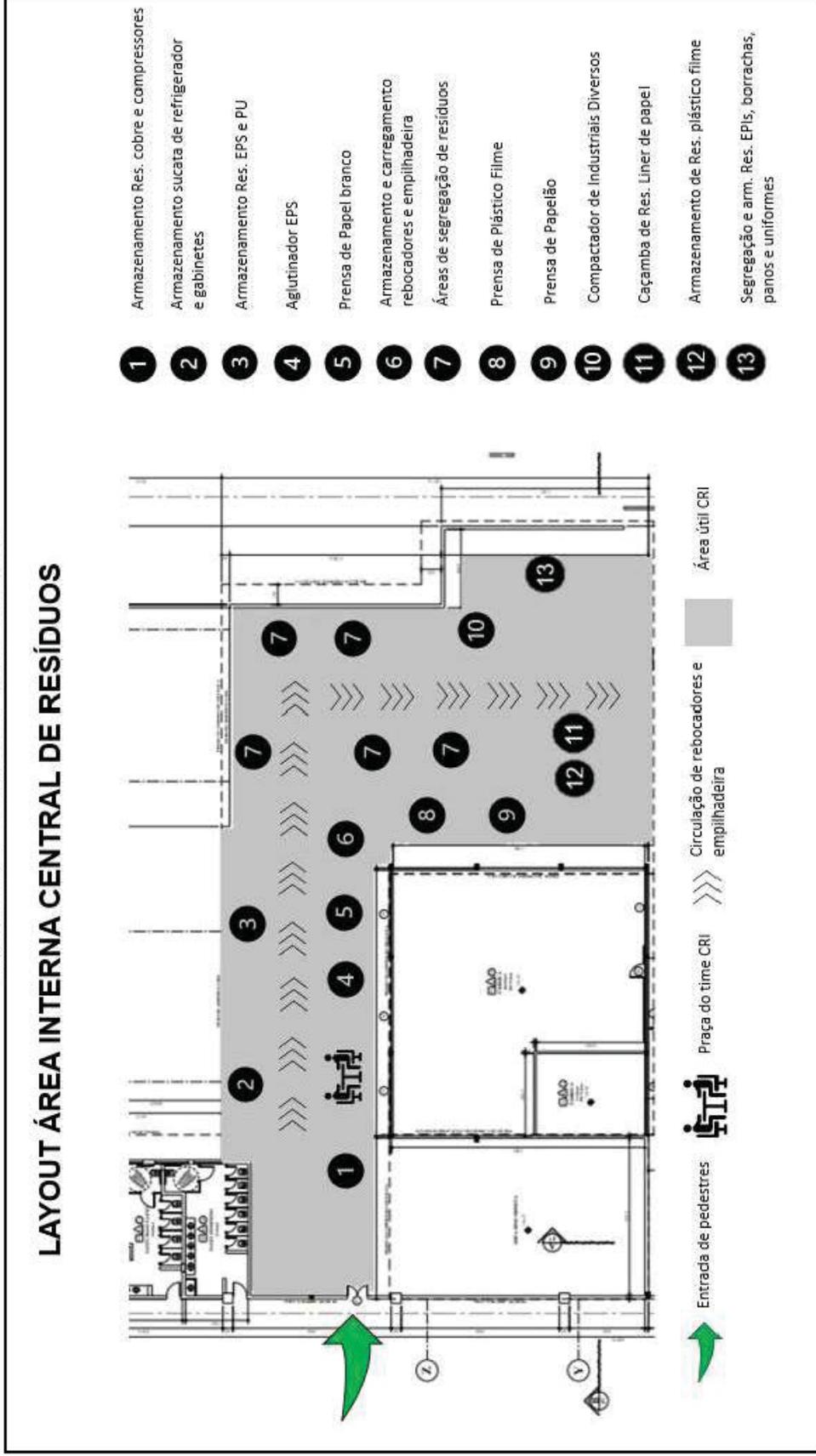
Este processo conta com o apoio de 2 rebocadores cada um atendendo uma das fábricas em 2 turnos diferentes e 1 empilhadeira exclusivos da Central de Resíduos, sendo que grande parte dos carrinhos de sucata são enviados a CRI por rebocadores e empilhadeiras do processo logístico.

A substituição dos carrinhos de resíduos gerais cheios por vazios ocorre respeitando um fluxo de coletas pré-determinado, para que não ocorra acúmulo de resíduos nos pontos de geração. Já os carrinhos de sucata só podem ser encaminhados pelo time logístico para a CRI após a baixa sistêmica. Os rebocadores fazem o giro entre as fábricas e trocam os carrinhos durante todo o período de cada turno. Os resíduos coletados pelos rebocadores e empilhadeiras são encaminhados até a CRI para segregação e armazenamento interno.

#### 4.1.2.4 Segregação e armazenamento interno

O processo de segregação se inicia quando os resíduos chegam até a CRI através dos rebocadores ou empilhadeiras. A área de segregação e armazenamento é dividida entre o local de separação manual dos resíduos e o processamento ou armazenamento mecânico deles. Nesta etapa os resíduos são segregados conforme suas características e classificação. A divisão do *layout* da CRI respeita as formas de armazenamento segundo a característica dos resíduos, pois alguns resíduos classe I (perigosos) devem ficar armazenados em local coberto e de acesso restrito (FIGURA 20 e FIGURA 21). Todos os resíduos são armazenados em local com solo impermeável.

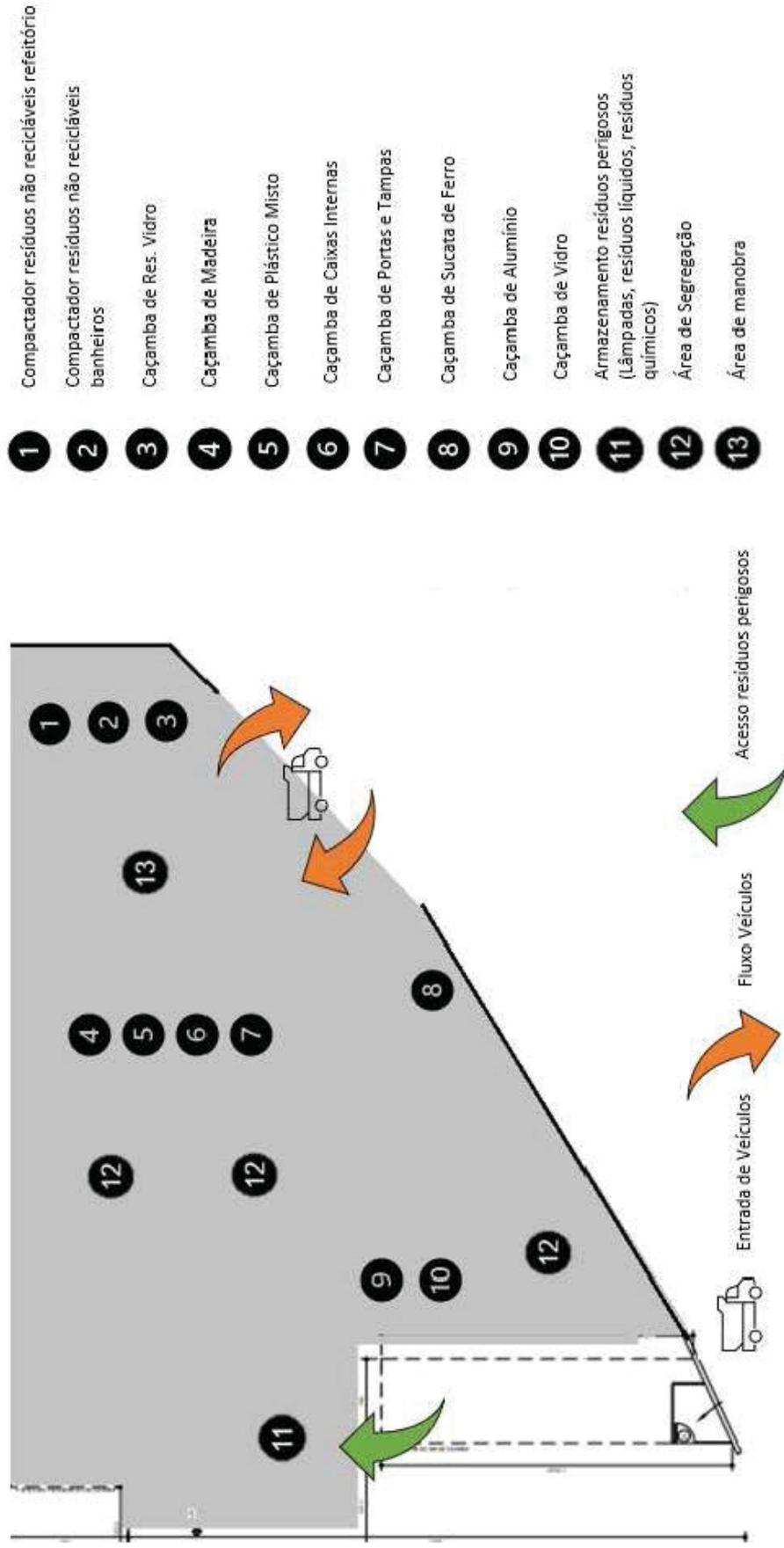
FIGURA 20 - LAYOUT ÁREA INTERNA CRI



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 21 - LAYOUT ÁREA EXTERNA CRI

LAYOUT ÁREA EXTERNA CENTRAL DE RESÍDUOS



FONTE: A autora (2022).

Após a segregação manual, os resíduos são encaminhados diretamente para suas caçambas ou para o processamento mecânico. A CRI conta com 6 equipamentos para processamento de alguns tipos de resíduos, sendo eles: 1 prensa de papelão (FIGURA 22), 1 prensa de papel branco (FIGURA 23), 1 prensa de plástico filme (FIGURA 24), 1 aglutinadora de poliestireno expansível (EPS) (FIGURA 25) e 3 compactadores de resíduos (FIGURA 26). Em seguida os resíduos que passam pelo processamento são armazenados também em caçambas ou em locais específicos em fardos para aguardar a coleta externa.

FIGURA 22 - PRENSA DE PAPELÃO



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 23 - PRENSA DE PAPEL BRANCO



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 24 - PRENSA DE PLÁSTICO FILME



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 25 - AGLUTINADOR DE EPS



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 26 - COMPACTADORES DE RESÍDUOS



FONTE: A autora (2022).

Os equipamentos utilizados são todos elétricos e pertencem aos prestadores de serviços ambientais de transporte e destinação final dos resíduos, sua manutenção e troca, se necessários, são responsabilidade dos proprietários. Os prestadores de serviço realizam treinamentos periódicos com os colaboradores da CRI sobre o correto manuseio dos equipamentos.

O tempo de permanência de cada resíduo na CRI depende dos seus volumes de geração, pois as coletas externas dependem de quantidades mínimas para que sejam realizadas. A existência de equipamentos como prensas e aglutinadores é justamente voltada à redução dos volumes dos resíduos, principalmente aqueles que possuem grande volume e baixo peso, como, por exemplo, o plástico filme.

#### 4.1.2.5 Coleta e transporte externos

Os agendamentos de coletas dos resíduos são realizados pela equipe técnica que atende as demandas da CRI. O contato com os fornecedores geralmente é realizado com 24h de antecedência mínima, porém alguns tipos de resíduos já possuem agenda prévia de saída diária de resíduos, com uma ou mais coletas. Esses são os exemplos dos resíduos de madeira, portas, tampas e caixas internas.

O processo de coleta se inicia no agendamento da carga, onde são informados os dados do resíduo e em quais horários a coleta deve ocorrer, para que não haja um gargalo dentro do processo. Em períodos normais de produção são realizadas entre 15 e 20 coletas de resíduos por dia na unidade.

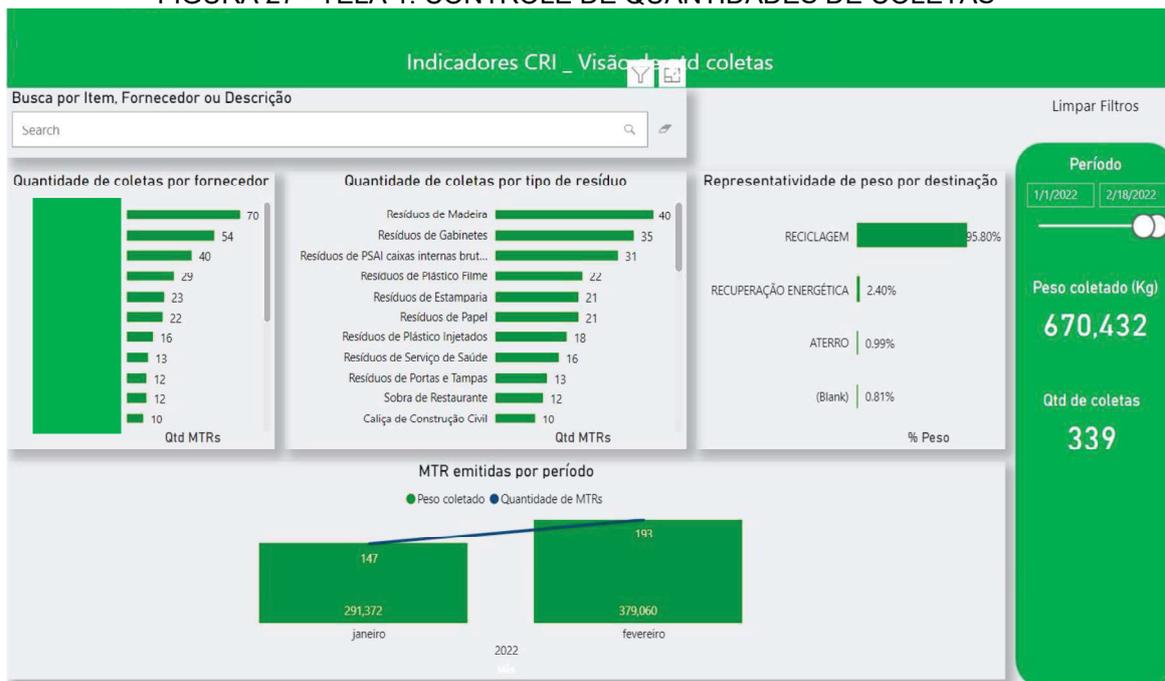
O procedimento de coleta consiste na pesagem inicial do caminhão e/ou caçamba. Quando se trata de caminhões baú, estes são direcionados diretamente para a CRI, ou local específico de armazenamento do resíduo para realizar a coleta. Quando são caçambas o caminhão é direcionado a uma área de manobra de caçambas, pois é necessário que a caçamba vazia seja basculada para então o caminhão ir até a central de resíduos buscar a caçamba cheia.

A retirada da carga de dentro da CRI é acompanhada pelas líderes operacionais do processo, é realizado um *check list* da carga com informações do horário, nome do motorista, dados do resíduo e fotos dos carregamentos para controle interno. Esse *check list* é realizado de maneira digital e alimenta um *Dashboard* também no *Power Bi™* onde é possível verificar todas as informações sobre a carga em tempo real.

Após a realização da coleta e o controle de carga preenchido, o caminhão segue para realização da pesagem. A empresa possui uma balança rodoviária devidamente calibrada para a realização deste procedimento. Após a realização da pesagem um ticket com os valores é encaminhado diretamente para a impressora da equipe CRI. Este peso é utilizado para lançamento em uma planilha de controle diário das cargas, que também faz parte da base de dados que alimenta o *Dashboard* de controle de coletas já mencionado.

O *Dashboard* pode ser visualizado nas Figuras abaixo, são 3 telas de verificação com informações distintas. Na Tela 1 são encontrados os dados relacionados as quantidades de coletas realizadas para cada tipo de resíduo e fornecedor (FIGURA 27). Nessas telas é possível selecionar diferentes períodos de verificação.

FIGURA 27 - TELA 1: CONTROLE DE QUANTIDADES DE COLETAS



FONTE: Microsoft Power Bi™

A Tela 2 do *Dashboard* mostra os dados relativos ao peso das coletas por resíduo e por fornecedor (FIGURA 28).

FIGURA 28 - TELA 2: PESOS DAS COLETAS



FONTE: Microsoft Power Bi™

A Tela 3 é parte fundamental do processo de controle de cargas, pois as fotos de cada carga podem ser observadas, confirmando o conteúdo dos carregamentos (FIGURA 29).

FIGURA 29 - TELA 3: FOTOS DAS CARGAS



FONTE: Dashboard em Power Bi™

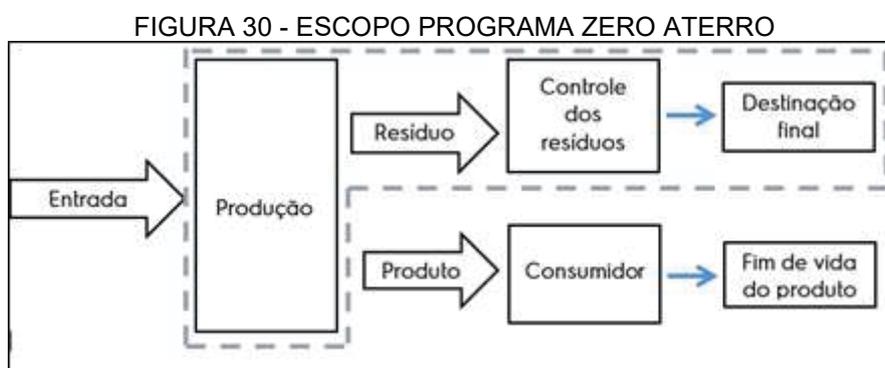
O peso é utilizado também para a emissão de toda a documentação ambiental exigida pela legislação brasileira. Os documentos emitidos são os Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) nos sistemas dos governos federal e estadual e notas fiscais.

Para as cargas de resíduos Classe I (resíduos perigosos) é realizado um *check list* de transporte para verificação de todos os itens de segurança e condições de atendimento a emergência dos veículos de transporte. Ao finalizar a emissão de documentos e *check list*, quando aplicável, as cargas são liberadas para sair da unidade. O acompanhamento do recebimento desta carga é realizado pelos sistemas do governo federal e/ou estadual.

#### 4.1.2.6 Destinação final

A empresa possui vários critérios pré-estabelecidos para a realização da destinação dos resíduos, uma vez que possui certificação internacional *Zero Landfill*, em português Zero Aterro. Como a empresa faz parte de um grupo multinacional a certificação do Programa Zero Aterro é uma diretriz global para todas as unidades. O programa consiste num conjunto de regras e procedimentos que devem ser implementados nas unidades do grupo, com o intuito de reduzir os impactos ambientais causados pela geração dos resíduos em seus processos de manufatura.

De acordo com os responsáveis; este programa também faz parte de uma estratégia global para eliminar as emissões de carbono das operações até 2050. O escopo da certificação pode ser observado na FIGURA 30.



FONTE: IA 4.4.6.14. Instrução Ambiental de Controle de Resíduos Gerais.

Existem várias empresas acreditadas para realização de auditorias e concessão deste certificado e cada empresa possui um critério diferente. Como as regras do Programa Zero Aterro foram definidas pelo grupo de maneira interna, buscou-se no mercado uma empresa de renome internacional que possuísse critérios de certificação que atendessem as diretrizes internas. A certificação da planta foi obtida no ano de 2021, mas a implementação do Programa Zero Aterro iniciou em 2018. Os critérios utilizados para a certificação da empresa objeto de estudo são:

- O envio de no máximo 1% do total de resíduos para aterro e/ou incineração (sem reaproveitamento energético);
- O envio de no máximo 3% do total de resíduos para reaproveitamento energético;
- O restante dos resíduos deve ser direcionado a reciclagem e/ou reaproveitamento sem geração de energia;
- Redução da relação de resíduos por produto;
- Os valores são calculados sempre considerando o acumulado do resultado dos 12 últimos meses, considerado então um indicador em *rolling* 12 meses.
- O Programa possui algumas exclusões como: os papéis provenientes de sanitários e resíduos de projetos e reformas. Estes não são considerados dentro dos indicadores. Porém são gerenciados da mesma forma, respeitando todos os requisitos legais a eles relacionados.

O Programa Zero Aterro segue a metodologia de gestão dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) como objetivo inicial a não geração dos resíduos. Neste sentido a empresa implementou vários projetos visando reduzir a geração de resíduos e a busca alternativas para a reciclagem de resíduos convencionalmente não recicláveis como, por exemplo, os resíduos de PU (Poliuretano expandido), EPIs (equipamentos de proteção individual), resíduos de borracha entre outros.

Desta forma, a FIGURA 31 demonstra em ordem decrescente quais são as formas preferíveis para a correta destinação dos resíduos, o que está de acordo com a hierarquia de gestão de resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Como já mencionado no topo da pirâmide invertida está a redução da geração, com o intuito de evitar todos os impactos causados pelo manejo de um resíduo que sua geração poderia ter sido evitada. Na sequência vem a reutilização daquele resíduo dentro do próprio processo ou por terceiros. A primeira forma de destinação final com transformação é a reciclagem, sendo a mais preferível dentro do processo. O reaproveitamento ou recuperação energética é a alternativa seguinte, sendo a última forma o aterro e/ou incineração dos resíduos.

FIGURA 31 - HIERARQUIA DOS RESÍDUOS PROGRAMA ZERO ATERRO



FONTE: Adaptado de IA 4.4.6.6 – Instrução Ambiental de Controle de Resíduos Gerais

A destinação final dos resíduos e a tecnologia utilizada são comprovadas através de Certificado de Destinação Final (CDF) emitido pelo sistema do governo federal chamado Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), instituído pela PNRS (BRASIL, 2010). Assim como os inventários exigidos como requisitos para atendimento a legislação ambiental vigente.

A empresa possui o controle mensal dos indicadores já mencionados, sendo <1% de envio de resíduos para aterro e/ou incineração sem

reaproveitamento energético e <3 para reaproveitamento energético. Os valores mensais de geração de resíduos são extraídos do sistema oficial dos governos Federal e Estadual e comparados com os controles internos para aumentar a confiabilidade dos dados. Após a verificação os dados são lançados em Software interno da empresa, onde os dados são direcionados para a equipe global da empresa para realização de análises.

A TABELA 2 apresenta os dados levantados de quantidade acumulada em t e a % de resíduos enviados para cada tecnologia de destinação no período de 2018 a 2021.

TABELA 2 - RELAÇÃO TECNOLOGIAS DE DESTINAÇÃO

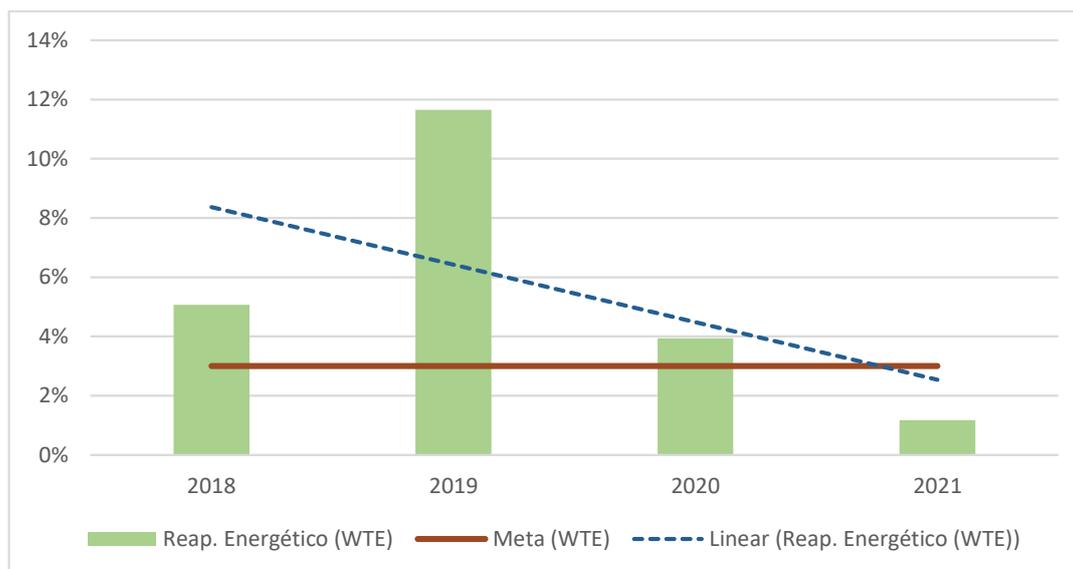
Geração e Destinação de Resíduos (2018 a 2021)		
Tecnologia	Quantidade (t)	%
Reciclagem	29.942,4	92,8%
Reaproveitamento Energético	1.866,14	5,8%
Incineração sem reaproveitamento energético e Aterro	448,03	1,4%
Total	32.256,57	

FONTE: A autora (2022).

A FIGURA 32 representa os resultados obtidos pela empresa nos 4 anos de monitoramento referente ao envio de resíduos para reaproveitamento energético. Observa-se que a meta estabelecida foi atingida no ano de 2021, quando houve a certificação do Programa Zero Aterro. Outro ponto importante é a avaliação da linha de tendência que confirma a redução de destinação.

Em 2019 é possível verificar um pico de envio de resíduos, isso pode se justificar devido ao remanejamento e melhor segregação de resíduos, assim como neste momento os resíduos de madeira eram enviados para fabricação de briquetes para caldeiras, sendo desta forma enquadrado como reaproveitamento energético. Considerando o resultado mais alto de 2019 (1.064,38 t), houve uma redução de 92% dos resíduos enviados para reaproveitamento energético, se comparado com os resultados alcançados em 2021 (81,96 t).

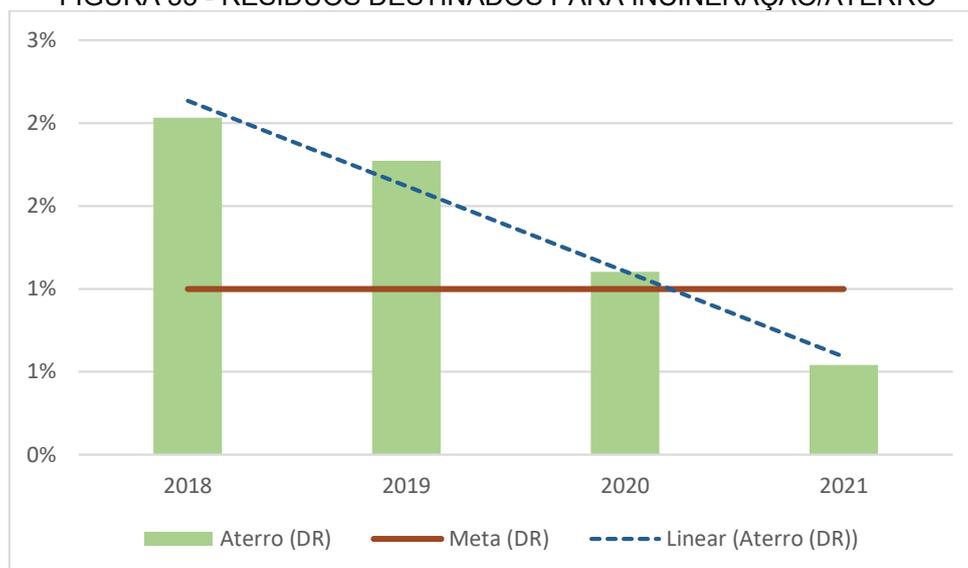
FIGURA 32 - RESÍDUOS DESTINADOS PARA REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO



Fonte: A Autora (2022).

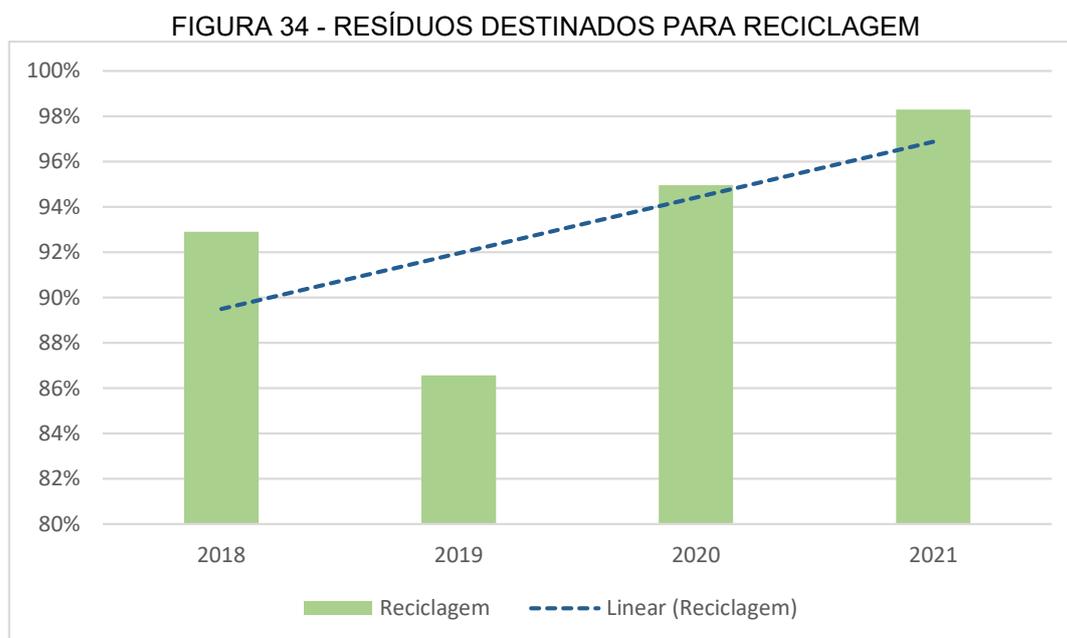
A FIGURA 33 apresenta o gráfico de redução dos resíduos encaminhados para as tecnologias de aterro e incineração, que de acordo com o programa interno são categorizados da mesma maneira. Da mesma forma que o indicador de coprocessamento, a meta do indicador de aterro e incineração foi atingida no ano de 2021, ficando com um resultado abaixo de 1%. Em porcentagem de redução, considerando os valores de 2018 (154,39 t) e de 2021 (38 t), houve uma redução de 77% de envio de resíduos para aterro e incineração. A linha de tendência presente no gráfico demonstra a redução.

FIGURA 33 - RESÍDUOS DESTINADOS PARA INCINERAÇÃO/ATERRO



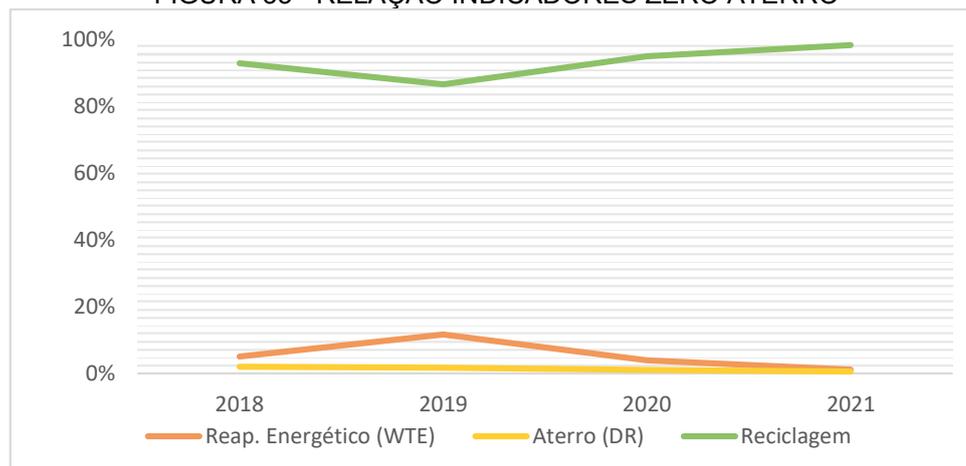
Fonte: A Autora (2022).

Com a diminuição do envio dos resíduos para tecnologias de reaproveitamento energético, aterro e incineração, conseqüentemente houve um aumento do envio para a reciclagem no período estudado (FIGURA 34). As tecnologias de tratamento de efluentes e compostagem também são classificadas como reciclagem.



Pode-se observar a relação entre os três indicadores (reciclagem, reaproveitamento energético e aterro) no período que compreende os anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 (FIGURA 35).

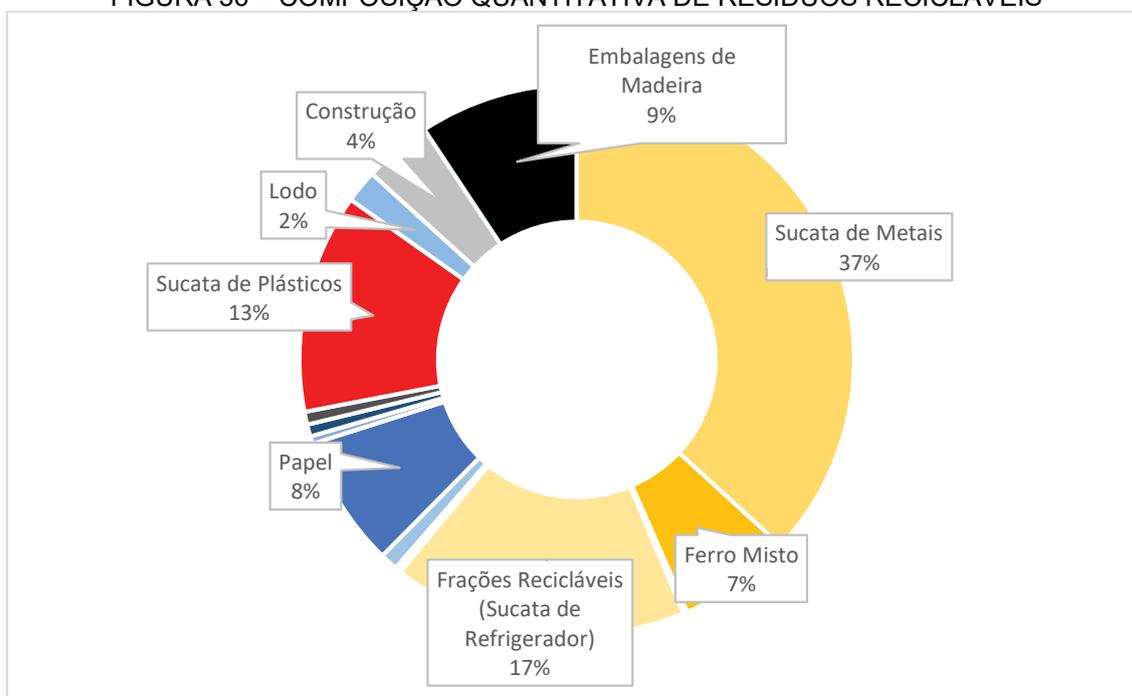
FIGURA 35 - RELAÇÃO INDICADORES ZERO ATERRO



Fonte: A Autora (2022).

No ano de 2021 mais de 98% dos resíduos gerados pela empresa foram enviados para a reciclagem. O resíduo com maior representatividade é a sucata de metais ferrosos e não ferrosos (37%), seguido das frações recicláveis ou sucatas de refrigerador (17%), as sucatas de plástico com (12%) ocupam a terceira posição, seguido dos resíduos de embalagens de madeira (9%), papel (8%), ferro misto (7%), resíduos de construção (4%) e lodo (2%) (FIGURA 36).

FIGURA 36 – COMPOSIÇÃO QUANTITATIVA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS



Fonte: A Autora (2022).

Uma vez que já está sendo executado um programa para reduzir envio de resíduos a aterros e à incineração, bem como o reaproveitamento energético, dando prioridade a reciclagem dos resíduos. Desta forma, a abordagem consistiu

em identificar quais os resíduos de interesse dentre os recicláveis de maior representatividade, do ponto de vista da origem do resíduo (processo produtivo ou áreas de apoio), se o resíduo se trata de uma mistura de materiais e se a base de dados do Idemat possui o mesmo mapeado em seu sistema.

Foi definido então que os resíduos de interesse são os provenientes do processo produtivo (QUADRO 5). Porém, entre os 3 resíduos de maior representatividade, sucata de metais ferrosos e não ferrosos, sucata de refrigerador e sucata de plástico, os resíduos de sucata de refrigerador são misturas de todos os materiais, podendo ser refrigeradores inteiros ou partes, como portas e gabinetes. Neste caso não é possível realizar a quantificação em separado para inserção no software, uma vez que o cálculo é feito por tipo de material. Sendo assim foram selecionados os resíduos de sucata de metais e sucata de plásticos para o inventário, estes dois resíduos somam 50% do total de resíduos reciclados.

QUADRO 5 - COMPARATIVO RESÍDUOS

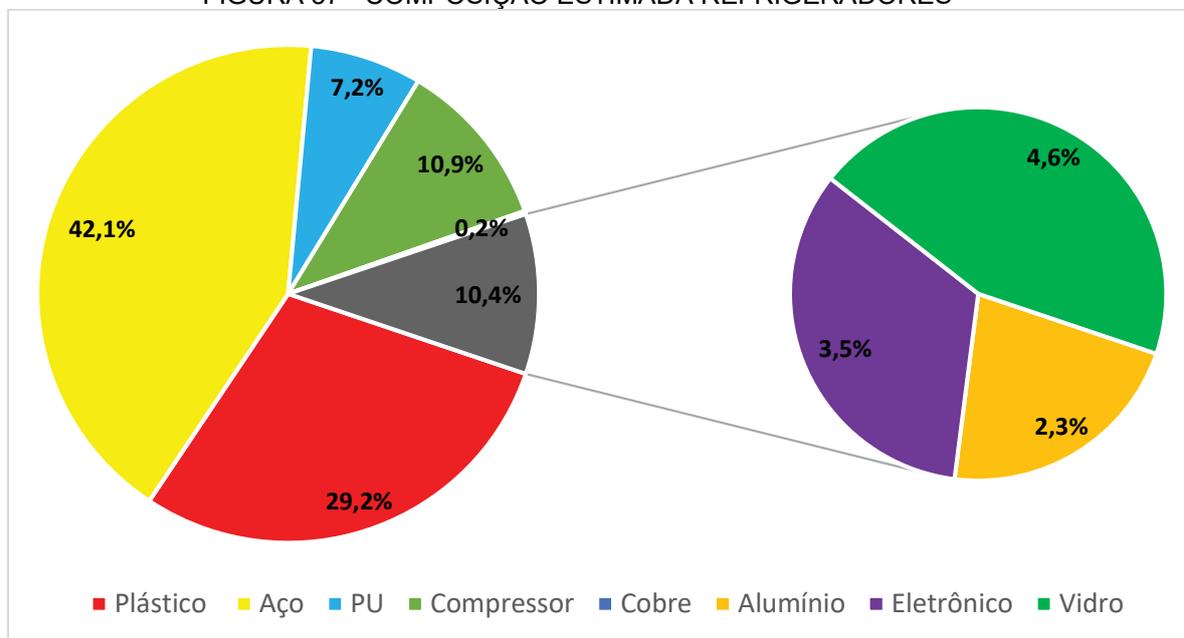
<b>Resíduo</b>	<b>Representatividade</b>	<b>Origem do resíduo</b>	<b>Se trata de uma mistura?</b>	<b>É possível separar os materiais?</b>	<b>A reciclagem está mapeada no IDEMAT?</b>
Sucata metais ferrosos e não ferrosos	37%	Ineficiência de processo	Sim	Sim	Sim
Sucata de refrigerador	17%	Ineficiência de processo	Sim	Não	Não
Sucata plásticos	13%	Ineficiência de processo / áreas de apoio	Sim	Sim	Sim
Embalagens de madeira	9%	Áreas de apoio	Sim	Sim	Não
Papel	8%	Áreas de apoio	Sim	Sim	Sim
Ferro misto	7%	Áreas de apoio	Sim	Sim	Sim
Construção	4%	Áreas de apoio	Sim	Não	Não
Lodo	2%	Áreas de apoio	Sim	Não	Não

Fonte: A Autora (2022).

Outra avaliação realizada para compreender o comportamento de geração de resíduos na empresa objeto de estudo foi a análise da composição de cada resíduo dentro do refrigerador. O valor é uma média estimativa com base em informações obtidas junto ao prestador de serviços de reciclagem dos

refrigeradores. Portanto podem sofrer alterações dependendo do modelo de refrigerador ou freezer. Os materiais metálicos (aço, alumínio e cobre) e de plástico somam mais de 70% da composição de um refrigerador (FIGURA 37).

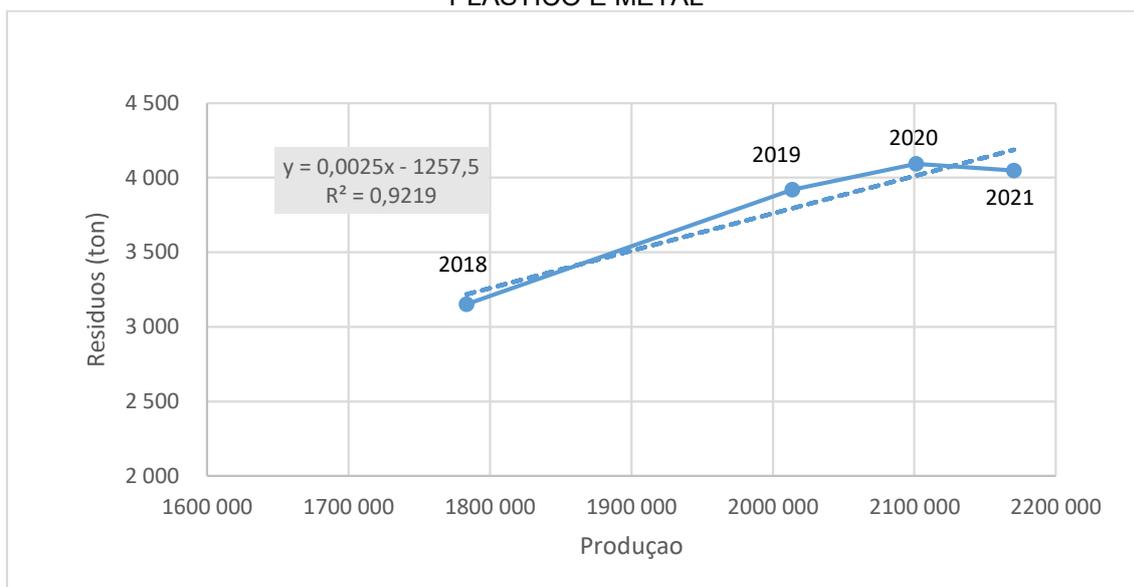
FIGURA 37 - COMPOSIÇÃO ESTIMADA REFRIGERADORES



Fonte: A Autora (2022).

Considerando os dados relacionados aos resíduos de plástico e metal, foram realizados levantamentos da correlação entre produção e a geração destes resíduos, para justificar a escolha realizada para a modelagem de ACV. Utilizando os valores de produção e resíduos empregados para a definição da UF na seção de Metodologia deste estudo (TABELA 1), através dos cálculos de regressão linear é possível observar que o valor para  $R^2=0,92$  o que matematicamente pode indicar uma correlação entre a quantidade de resíduos de plástico e metal gerados e a produção de refrigeradores e freezers (FIGURA 38).

FIGURA 38 – CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE PLÁSTICO E METAL



Fonte: A Autora (2022).

A tendência traçada para os dados analisados representa um aumento na relação de resíduos recicláveis por produto entre 2018 e 2020, iniciando em 2021 um movimento de queda. Considerando que os volumes de produção do ano de 2021 foram os mais altos de todo o período e a geração de resíduos diminuiu se comparada com o ano de 2020, pode-se indicar uma melhoria na eficiência do processo e uma possibilidade de mudança na linha de tendência para os próximos anos (QUADRO 6).

QUADRO 6 - RELAÇÃO RESÍDUO POR PRODUTO

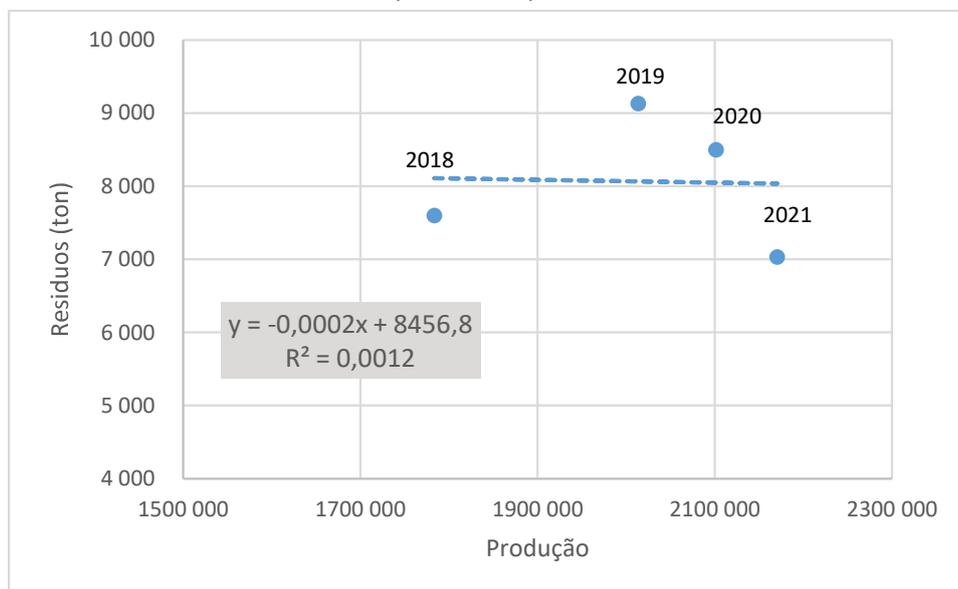
Ano	Relação massa (t)/unidade (resíduo/produto)
2018	0,001767
2019	0,001947
2020	0,001948
2021	0,001865

Fonte: A Autora (2022).

Optou-se por verificar o comportamento do cálculo considerando os dados de todos os resíduos. Porém, o resultado obtido para o período de 2018 a 2021 demonstrou um comportamento que não expressa uma correlação entre as duas variáveis. Isso indica que o total de resíduos neste período não acompanha os comportamentos de produção, outras variáveis, que não a

manufatura, podem estar relacionadas a geração de resíduos, como os resíduos de áreas de apoio (refeitório, escritórios, banheiros, logística, utilidades entre outros) (FIGURA 39).

FIGURA 39 – CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS TOTAIS (2018-2021)



Analisando os valores da relação entre os resíduos totais por produto (QUADRO 7), pode-se observar que de 2018 para 2019 houve um aumento significativo, seguido de dois anos consecutivos de redução. Considerando os valores de 2018 e 2021, houve uma redução de aproximadamente 25% na quantidade de resíduos por produto.

QUADRO 7 - RELAÇÃO RESÍDUO TOTAL POR PRODUTO

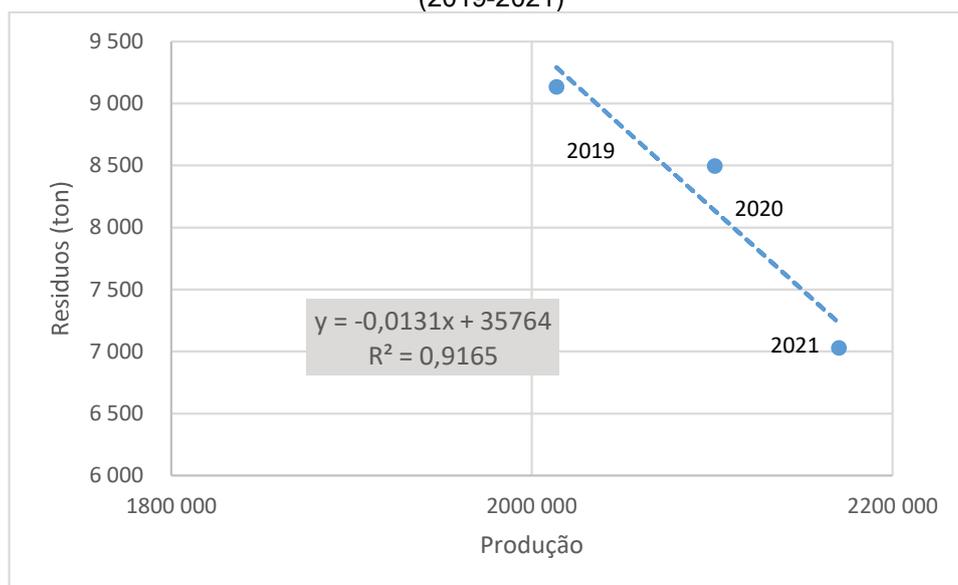
Ano	Relação massa (t)/unidade (resíduo/produto)
2018	0,00425
2019	0,00453
2020	0,00404
2021	0,00323

Fonte: A Autora (2022).

Porém, o ano de 2018 foi marcado pelo início das ações do programa Zero Aterro, optou-se por fazer uma análise retirando os dados relativos à produção e geração de resíduos neste ano. A regressão linear obtida para o período de 2019 a 2021 resultou em um valor de  $R^2=0,91$  o que

matematicamente indica que a partir de 2019 a geração de resíduos total passa a ter relação direta com a produção (FIGURA 40). Esta mudança no comportamento pode indicar uma melhoria e redução de geração de resíduos em áreas não impactadas pela produção. Se considerados os anos de 2019 a 2021, a redução da geração de resíduos por produto foi de 29%.

FIGURA 40 – CORRELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS TOTAIS (2019-2021)



Fonte: A Autora (2022).

A comparação entre as tendências apresentadas pelos gráficos pode indicar que no período houve um aumento de geração de resíduos recicláveis (plástico e metal) por produto, mas ao mesmo tempo uma redução no total de resíduos por produto. Este resultado pode ser consequência uma melhor segregação e valoração dos resíduos como resultado de todas as medidas de melhoria na gestão já demonstradas neste documento.

#### 4.2 INVENTÁRIO DO PROCESSO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O inventário levou em consideração o processo de transporte externo dos resíduos até sua destinação final e os processos de reciclagem. Os fluxos específicos e as entradas e saídas de cada um destes podem ser observados no QUADRO 8. O inventário é constituído por dados primários obtidos diretamente do processo e dados secundários obtidos dos bancos de dados Idemat e Ecoinvent.

As etapas do inventário compreendem o levantamento dos dados da geração dos resíduos de metal e plástico, a definição dos tipos de veículos utilizados para seu transporte externo e a distância percorrida até a destinação final. Para a realização do levantamento foram utilizados os dados de 2018, 2019, 2020 e 2021 referentes à geração de resíduos.

QUADRO 8 - ENTRADAS E SAÍDAS

<b>Entradas</b>	<b>Etapas</b>	<b>Saídas</b>	<b>Base de Dados</b>
Combustíveis <sup>(2)</sup>	Transporte Externo	Emissões para o ar <sup>(2)</sup> Resíduos <sup>(2)</sup>	Ecoinvent
Energia Elétrica <sup>(2)</sup> Água <sup>(2)</sup> Combustível <sup>(2)</sup> Resíduos <sup>(1)</sup>	Destinação Final	Emissões para o ar <sup>(2)</sup> Emissões para o solo <sup>(2)</sup> Emissões para a água <sup>(2)</sup> Resíduos <sup>(2)</sup>	Idemat

FONTE: Dados Idemat e Ecoinvent (2022).  
(1) Dados primários (2) Dados secundários

Esse período foi selecionado para garantir uma amostragem mais significativa, considerando os resíduos internamente classificados como metais e plásticos (códigos IBAMA 200140 e 200139). Desta forma, obtendo os resultados com relação a quantificação dos resíduos de interesse no período citado, a representatividade de cada resíduo em % e o fluxo de referência (FR). Para este estudo foi adotada como unidade funcional o gerenciamento de 1 t de resíduos. Desta forma, cada resíduo possui o FR de acordo com a sua representatividade dentro da UF (TABELA 3).

TABELA 3 – QUANTIDADE TOTAL E FLUXO DE REFERÊNCIA (FR)

<b>IBAMA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>UNID</b>	<b>TOTAL (2018 a 2021)</b>	<b>%</b>	<b>FR</b>
200139	Resíduos de Styron Branco Moído (PSAI)	t	5,34	<b>0,04%</b>	<b>0,00035</b>
200140	Resíduos de Chapa Pintada	t	196,54	<b>1,29%</b>	<b>0,01292</b>
200140	Resíduos de Cobre	t	83,82	<b>0,55%</b>	<b>0,00551</b>
200140	Resíduos de Capas de Bobinas	t	66, 2	<b>0,44%</b>	<b>0,00435</b>
200140	Resíduos de Capas Lateral de Bobina	t	74,4	<b>0,49%</b>	<b>0,00489</b>
200140	Resíduos de Alumínio	t	108,09	<b>0,71%</b>	<b>0,00710</b>
200140	Resíduos Chapa Fardo Inox	t	96,64	<b>0,64%</b>	<b>0,00635</b>
200139	Resíduos de PSAI Aparas Brutas	t	266,05	<b>1,75%</b>	<b>0,01749</b>
200140	Resíduos de Chapa de Aço Div Bitolas	t	422,39	<b>2,78%</b>	<b>0,02776</b>
200139	Resíduos de Plástico Misto - PP	t	121,66	<b>0,80%</b>	<b>0,00800</b>
200139	Resíduos de Plástico Misto - PVC	t	182,49	<b>1,20%</b>	<b>0,01200</b>
200139	Resíduos de Plástico Misto - PS	t	149,31	<b>0,98%</b>	<b>0,00981</b>
200139	Resíduos de Plástico Misto - PET	t	99,54	<b>0,65%</b>	<b>0,00654</b>
200139	Resíduos de PSAI caixas internas bruta	t	531,94	<b>3,50%</b>	<b>0,03496</b>
200140	Resíduos de Bobina de Aço	t	654,21	<b>4,30%</b>	<b>0,04300</b>
200140	Resíduos Sobras Bobina de Aço	t	626,82	<b>4,12%</b>	<b>0,04120</b>
200139	Resíduos de Plástico Injetados	t	1 169,45	<b>7,69%</b>	<b>0,07687</b>
200139	Resíduos de Plástico Filme	t	1 421,50	<b>9,34%</b>	<b>0,09343</b>
200140	Resíduos de Chapa de Aço Diversos Tam.	t	3 470,54	<b>22,81%</b>	<b>0,22812</b>
200140	Resíduos de Estamparia	t	5 466,87	<b>35,93%</b>	<b>0,35934</b>
	<b>Total</b>		<b>15 213</b>	<b>100,00%</b>	<b>UF = 1</b>

Fonte: A Autora (2022).

Com o valor de FR e a distância de destinação de cada resíduo, foi possível calcular o tkm. A definição dos tipos de veículo também foi realizada nesta etapa. Não foi possível obter a informação dos anos de fabricação dos veículos utilizados para o transporte apenas as suas capacidades. Desta forma, foi adotado o EURO 3, considerando uma fabricação estimada entre 2002 e 2006 (TABELA 4).

TABELA 4 - CÁLCULO TKM E VEÍCULOS

DESCRIÇÃO	FR	km	tkm	VEÍCULO
Resíduos de Styron Branco Moído (PSAI)	<b>0,00035</b>	<b>12</b>	<b>0,0042</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Chapa Pintada	<b>0,01292</b>	<b>20</b>	<b>0,2584</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Cobre	<b>0,00551</b>	<b>30</b>	<b>0,1653</b>	Transport, freight, lorry 3.5 - 7.5, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Capas de Bobinas	<b>0,00435</b>	<b>20</b>	<b>0,087</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Capas Lateral de Bobina / Cantoneira	<b>0,00489</b>	<b>55</b>	<b>0,269</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Alumínio	<b>0,0071</b>	<b>30</b>	<b>0,2131</b>	Transport, freight, lorry 3.5 - 7.5, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos Chapa Fardo Inox	<b>0,00635</b>	<b>20</b>	<b>0,1271</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de PSAI Aparas Brutas	<b>0,01749</b>	<b>12</b>	<b>0,2099</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Chapa de Aço Div Bitolas Fardos	<b>0,02776</b>	<b>20</b>	<b>0,5553</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Plástico Misto - PP	<b>0,008</b>	<b>12</b>	<b>0,096</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Plástico Misto - PVC	<b>0,012</b>	<b>12</b>	<b>0,1439</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Plástico Misto - PS	<b>0,00981</b>	<b>12</b>	<b>0,1178</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Plástico Misto - PET	<b>0,00654</b>	<b>12</b>	<b>0,0785</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de PSAI caixas internas bruta	<b>0,03496</b>	<b>12</b>	<b>0,4196</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Bobina de Aço	<b>0,043</b>	<b>20</b>	<b>0,86</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos Sobras Bobina de Aço	<b>0,0412</b>	<b>20</b>	<b>0,824</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Plástico Injetados	<b>0,07687</b>	<b>12</b>	<b>0,9224</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Plástico Filme	<b>0,09343</b>	<b>33</b>	<b>3,0833</b>	Transport, freight, lorry 3.5 - 7.5, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Chapa de Aço Diversos Tam.	<b>0,22812</b>	<b>20</b>	<b>4,5623</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
Resíduos de Estamparia	<b>0,35934</b>	<b>55</b>	<b>19,7634</b>	Transport, freight, lorry 7.5-16, metric ton EURO3 RoW APOS
	<b>UF = 1</b>		<b>tkm total = 32,76</b>	

Fonte: A Autora (2022).

Os dados relativos ao FR e ao tkm foram obtidos a partir das equações apresentadas na seção de Materiais e Métodos do presente estudo. Dois exemplos dos cálculos podem ser observados abaixo:

- Descarte final de Resíduos de Estamparia

$$FR = \frac{5.466,87}{15.213,81}$$

$$FR = 0,3593 \text{ ton}$$

$$tkm = 0,3593 * 55$$

$$tkm = 19,76$$

- Descarte final de Resíduos de Plástico Filme

$$FR = \frac{1.421,50}{15.213,81}$$

$$FR = 0,09343 \text{ ton}$$

$$tkm = 0,09343 * 33$$

$$tkm = 3,08$$

Os impactos da etapa de transporte foram calculados utilizando as informações da base de dados do Ecoivent. Porém, a licença desta base de dados não é liberada gratuitamente os cálculos foram realizados a partir de valores estabelecidos pelo Ecoivent considerando 1tkm para cada veículo empregado. Os dados relativos a 1 tkm foram fornecidos através da licença do Instituto 17 (QUADRO 9). Foi adotado o padrão EURO 3 com as capacidades de 3,5 a 7,5 e 7,5 a 16 t.

QUADRO 9 - EFEITO DOS DOIS TIPOS DE CAMINHÕES DE TAMANHOS DISTINTOS USADOS PARA TRANSPORTE EM CONDIÇÕES SIMILARES ÀS BRASILEIRAS SOBRE AS CATEGORIA DE IMPACTO DO ECOINVENT

Product:	1 tkm Transport, freight, lorry 3.5-7.5 e 7.5-16 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   APOS, U (de projeto Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - unit)		
Método:	Recipe 2016 Midpoint (H) V1.07 / World (2010) H		
Indicador:	Caracterização		
Categoria de impacto	Unidade	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   APOS, U	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3   APOS, U
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq	0,41863615	0,18034984
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1,35E-07	5,95E-08
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,002892707	0,001250952
Ozone formation, Human health	kg NO <sub>x</sub> eq	0,002765712	0,001247514
Fine particulate matter formation	kg PM <sub>2.5</sub> eq	0,000545926	0,000250025
Ozone formation, Terrestrial ecos	kg NO <sub>x</sub> eq	0,002789238	0,00125816
Terrestrial acidification	kg SO <sub>2</sub> eq	0,001442479	0,000641456
Freshwater eutrophication	kg P eq	5,11E-05	2,21E-05
Marine eutrophication	kg N eq	2,09E-07	9,61E-08
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5,342316	2,9356601
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,000839448	0,000449419
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,00386989	0,002105314
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,00070048	0,000326539
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,09447083	0,049687517
Land use	m <sup>2</sup> a crop eq	0,000177786	7,69E-05
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	5,93E-05	2,56E-05
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,13657343	0,059061215
Water consumption	m <sup>3</sup>	0,000120822	5,22E-05

Fonte: Ecoinvent (2022).

Para a etapa de destinação, a base de dados utilizada foi o Idemat com auxílio do software openLCA. Para a realização dos cálculos há uma nomenclatura específica dentro da base de dados, que classifica os resíduos conforme suas características e material (QUADRO 10). O resíduo de Chapa Fardo Inox foi incluído na classificação de aço; pois a base de dados não possui informações sobre a reciclagem de aço inox.

QUADRO 10 - SELEÇÃO DE RESÍDUOS NO IDEMAT DE ACORDO COM OS RESÍDUOS METÁLICOS E PLÁSTICOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE REFRIGERADORES E FREEZERS

Definição e classificação openLCA	Resíduos
F.110.01.101 Aluminium, recycling credit closed loop (87.5% virgin part trade mix)	Resíduos de Alumínio
F.110.01.102 Copper, recycling credit closed loop (45% virgin part in trade mix)	Resíduos de Cobre
F.110.01.111 Steel, recycling credit closed loop (56% virgin part in trade mix)	Resíduos de Chapa Pintada
	Resíduos de Capas de Bobinas
	Resíduos de Capas Lateral de Bobina Cantoneira
	Resíduos Chapa Fardo Inox (*)
	Resíduos de Chapa de Aço Div Bitolas Fardos
	Resíduos de Bobina de Aço
	Resíduos Sobras Bobina de Aço
	Resíduos de Chapa de Aço Diversos Tam.
F.120.01.112 PET (Polyethylene terephthalate, upcycling credit)	Resíduos de Plástico Misto - PET
F.120.01.117 PP (Polypropylene), upcycling credit	Resíduos de Plástico Misto - PP
F.120.01.118 PS (Polystyrene), upcycle credit	Resíduos de Styron Branco Moído (PSAI)
	Resíduos de PSAI Aparas Brutas
	Resíduos de Plástico Misto – PS
	Resíduos de PSAI caixas internas bruta
	Resíduos de Plástico Injetados
F.120.01.110 PE (Polyethylene), upcycling credit	Resíduos de Plástico Misto – PE
	Resíduos de Plástico Filme

Fonte: A Autora (2022).

Para realização dos cálculos da etapa de destinação no software openLCA, foram criados fluxos do tipo *Waste* (FIGURA 41), para cada um dos resíduos avaliados estes fluxos foram associados a um processo específico dentro da categoria *Waste handling, recycling, combustion, landfill*. A UF de 1 t foi inserida como padrão e o valor do FR de cada resíduo foi utilizado como *input* (FIGURA 42). Também foram criados fluxos separados para cada um dos resíduos, objetivando-se uma estratificação mais precisa do impacto de cada um dos resíduos. Ao total, foram utilizados 21 fluxos e 21 processos dentro do software.

FIGURA 41 - CRIAÇÃO DE FLUXO DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS NO OPENLCA

**General information: Reciclagem de Resíduos**

**- General information**

Name: Reciclagem de Resíduos

Description: Gerenciamento e reciclagem de 1 tonelada de resíduos de plástico e metal gerados para a manufatura de 530 produtos.

Version: 00.00.000

UUID: 19b6102f-f61f-475f-9a87-333438b68ce7

Last change: 2022-10-22T10:34:29+0200

Tags: Add a tag

Infrastructure flow:

Flow type: Waste

Fonte: openLCA (2022).

FIGURA 42 - INPUTS PROCESSO DE RECICLAGEM DE RS METÁLICOS E PLÁSTICOS NO OPEN LCA

**Inputs/Outputs: Reciclagem de Resíduos**

**- Inputs**

Flow	Category	Amount	Unit
F.F.110.01.101 Aluminium, recycling credit closed ...	Waste handling, recycling, combusti...	0.00710	t
F.F.110.01.102 Copper, recycling credit closed loo...	Waste handling, recycling, combusti...	0.00551	t
F.F.110.01.111 Steel, recycling credit closed loop (...)	Waste handling, recycling, combusti...	0.72790	t
F.F.120.01.110 PE (Polyethylene), upcycling credit	Waste handling, recycling, combusti...	0.10543	t
F.F.120.01.112 PET (Polyethylene terephthalate, u...	Waste handling, recycling, combusti...	0.00650	t
F.F.120.01.117 PP (Polypropylene), upcycling credit	Waste handling, recycling, combusti...	0.00800	t
F.F.120.01.118 PS (Polystyrene), upcycle credit	Waste handling, recycling, combusti...	0.13950	t
<b>Reciclagem de Resíduos</b>		<b>1.00000</b>	<b>t</b>

Fonte: openLCA (2022).

Após a inclusão dos dados primários de *input*, o cálculo foi realizado com as propriedades do software (FIGURA 43), não foi aplicado método de alocação para o cálculo de destinação. O método de avaliação de impacto utilizado foi o Recipe 2016 *Midpoint* (H).

FIGURA 43 - PROPRIEDADES DE CÁLCULO NO OPENLCA

**Calculation properties**

Please select the properties for the calculation

Allocation method: None

Impact assessment method: ReCiPe 2016 Midpoint (H)

Normalization and weighting set:

Calculation type:  Quick results  Analysis  Regionalized LCIA  Monte Carlo Simulation

Include cost calculation

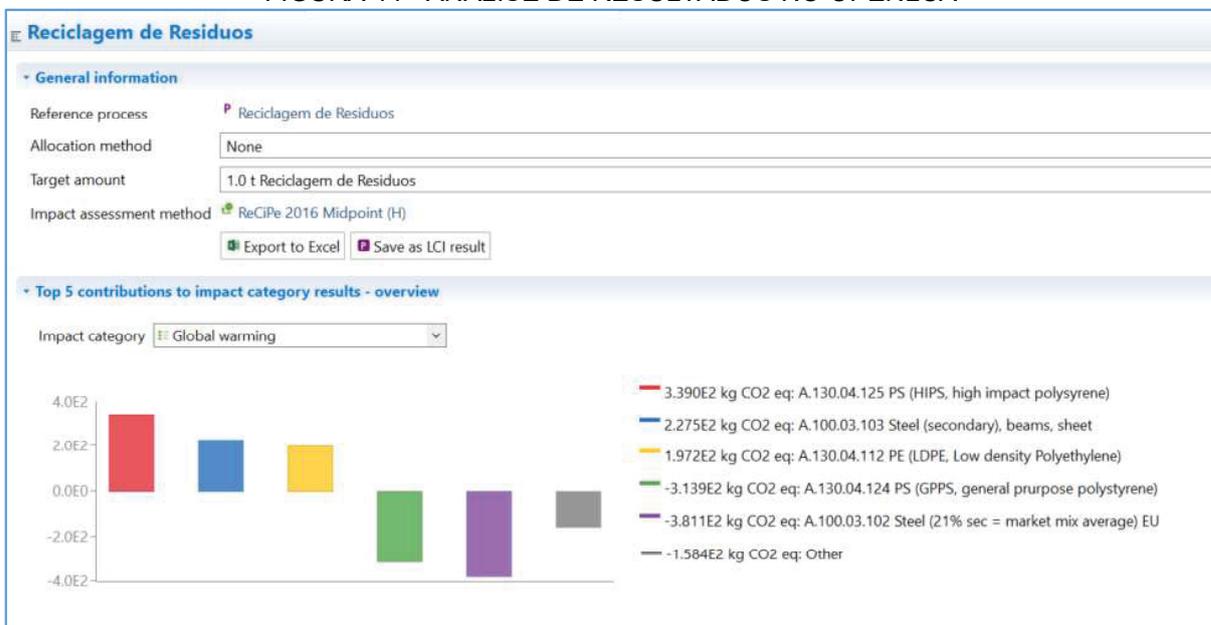
Assess data quality

< Back Next > Finish Cancel

Fonte: openLCA (2022).

O resultado do cálculo é apresentado pelo sistema considerando os principais impactos dentro de cada uma das categorias de impacto, o software também permite exportar os resultados compilados em formato Excel (FIGURA 44).

FIGURA 44 - ANÁLISE DE RESULTADOS NO OPENLCA



Fonte: openLCA (2022).

## 4.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS

### 4.3.1 Resultados Categorias de Impacto por UF

Para a etapa de avaliação dos impactos do presente estudo, compreende-se por impactos negativos aqueles que são deletérios ao meio ambiente, sendo os resultados cujo valor seja  $>0$ . Os impactos positivos são aqueles benéficos ao meio ambiente, ou seja, os impactos que foram evitados com a reciclagem, sendo estes os resultados com valores  $<0$ .

#### 4.3.1.1 Transporte

Os cálculos para a etapa de transporte foram realizados baseando-se nos valores retirados da base de dados Ecoinvent, como já citada no tópico de inventário. Dentre as 18 categorias de impacto avaliadas, 14 apresentaram valores inexpressivos e/ou zero. As 4 categorias que tiveram representatividade para a etapa de transporte foram aquecimento global, ecotoxicidade terrestre, toxicidade não carcinogênica em humanos e esgotamento de recursos fósseis. Todas as categorias relacionadas a transporte apresentaram impactos negativos ao meio ambiente, ou seja, não há ganhos e/ou créditos ambientais em nenhuma das categorias avaliadas (TABELA 5).

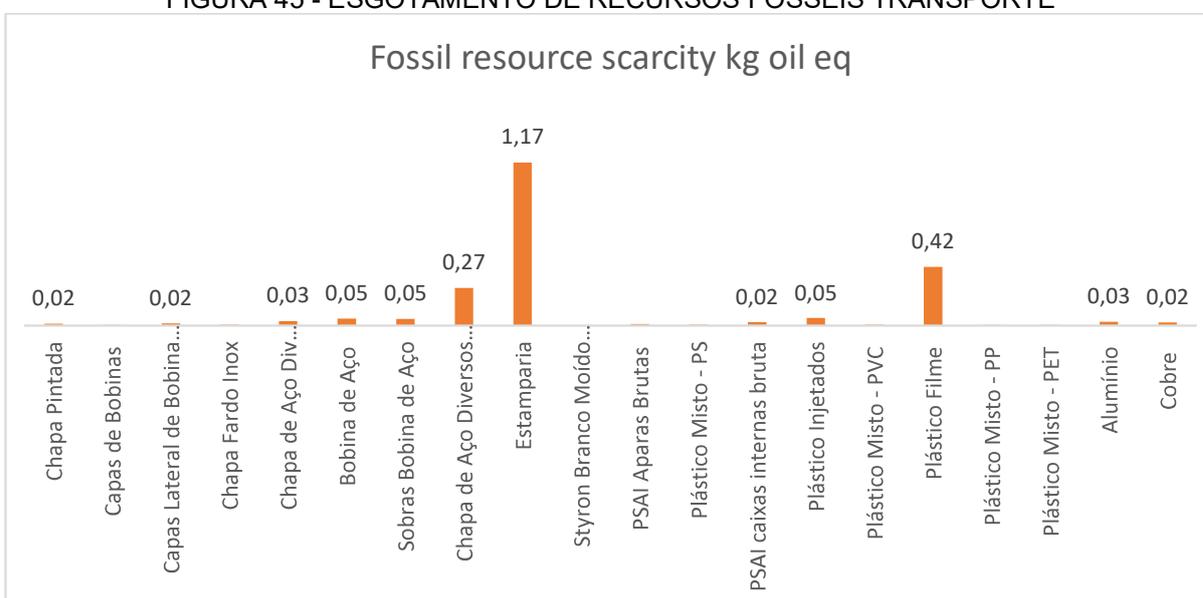
TABELA 5 - EFEITO DOS DOIS TIPOS DE VEÍCULOS USADOS PARA TRANSPORTE SOBRE AS CATEGORIA DE IMPACTO QUANTITATIVAS EXPRESSIVAS E SUA IMPORTÂNCIA RELATIVA À UNIDADE FUNCIONAL

<b>Método:</b>		<b>Recipe 2016 Midpoint (H) V1.07 / World (2010) H</b>		
<b>Indicador:</b>	TKM	3,4618	29,2988	32,7606
<b>Categoria de impacto</b>	Unidade	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3   APOS, U	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 {RoW}  transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3   APOS, U	Total/UF
<b>Global warming</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,449	5,284	6,7
<b>Terrestrial ecotoxicity</b>	kg 1,4-DCB	18,494	86,011	104,5
<b>Human non-carcinogenic toxicity</b>	kg 1,4-DCB	0,327	1,456	1,78
<b>Fossil resource scarcity</b>	kg oil eq	0,473	1,730	2,20

Fonte: A Autora (2022).

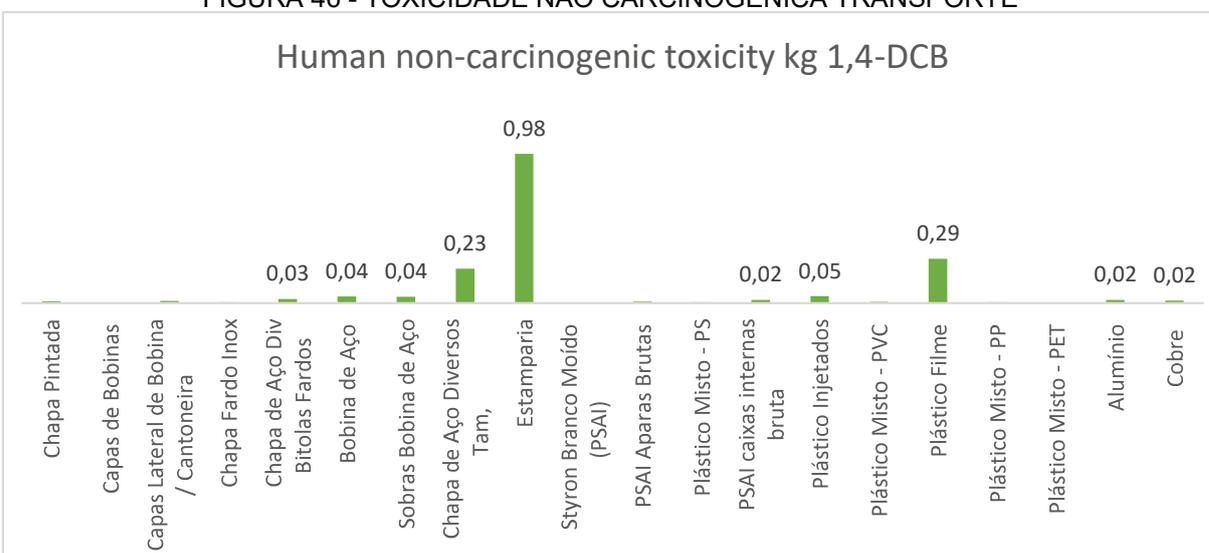
Para as 4 categorias de impacto o grupo que apresentou maior representatividade foi o resíduo de estamparia (resíduos de aço), seguido do resíduo de plástico filme e de chapas de aço diversos tamanhos. Os impactos da etapa de transporte não estão diretamente associados ao tipo de material transportado, mas sim a frequência de transporte e a distância entre o ponto gerador e a destinação. Os resíduos de aço possuem maior fluxo de geração, desta forma é natural que ocorram mais coletas destes resíduos, o que conseqüentemente gera maior emissões dos meios de transporte (FIGURA 45, FIGURA 46, FIGURA 47 e FIGURA 48).

FIGURA 45 - ESGOTAMENTO DE RECURSOS FÓSSEIS TRANSPORTE



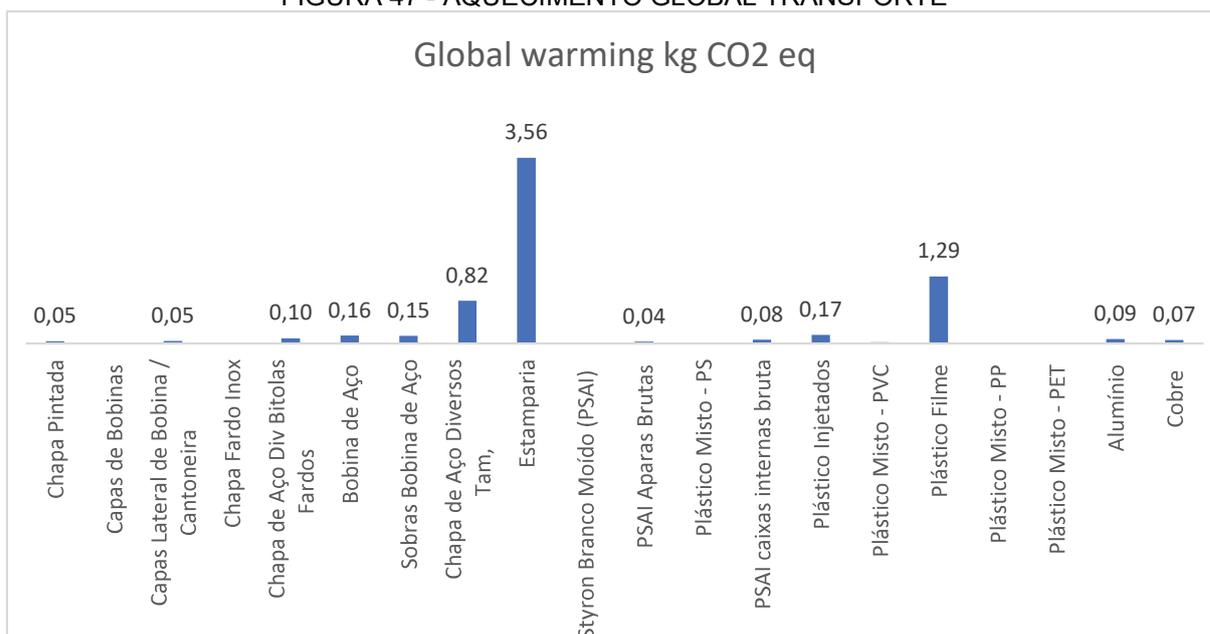
Fonte: A Autora (2022).

FIGURA 46 - TOXICIDADE NÃO CARCINOGENICA TRANSPORTE



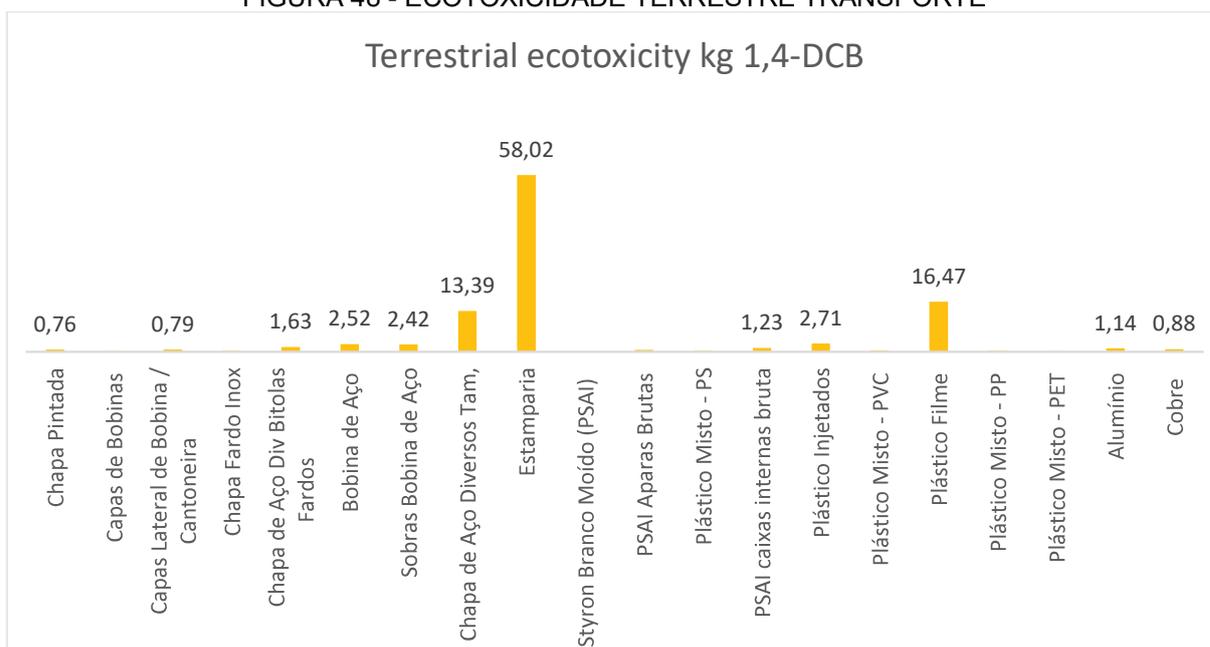
Fonte: A Autora (2022).

FIGURA 47 - AQUECIMENTO GLOBAL TRANSPORTE



Fonte: A Autora (2022).

FIGURA 48 - ECOTOXICIDADE TERRESTRE TRANSPORTE



Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2 Destinação

Os resultados obtidos pelos cálculos do software openLCA e base de dados Idemat, levam em consideração dados relativos a diversos países do mundo, sendo alguns deles Estados Unidos, China e países da Europa. A base de dados utilizada também compila dados de diversos outros bancos de dados utilizados para estudos

de ACV como ELCD database 2.0, European Pollutant Emission Register (EPER), GaBi databases 2006 e World Ports Distances Calculator.

Para a destinação foram evidenciados impactos positivos e negativos, das 18 categorias de impacto 10 resultaram em impactos positivos (valores destacados em verde), 1 impacto negativo (valor destacado em vermelho) e 6 tiveram resultados pouco expressivos e/ou zero (TABELA 6).

TABELA 6 – RESULTADOS ETAPA DE DESTINAÇÃO POR UF

Impact category	Reference unit	Total Impacto UF
<b>Fine particulate matter formation</b>	kg PM2.5 eq	0,00
<b>Fossil resource scarcity</b>	kg oil eq	-209,99
<b>Freshwater ecotoxicity</b>	kg 1,4-DCB	-0,12
<b>Freshwater eutrophication</b>	kg P eq	0,02
<b>Global warming</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	-89,61
<b>Human carcinogenic toxicity</b>	kg 1,4-DCB	-0,65
<b>Human non-carcinogenic toxicity</b>	kg 1,4-DCB	-61,18
<b>Ionizing radiation</b>	kBq Co-60 eq	0,06
<b>Land use</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	3,92
<b>Marine ecotoxicity</b>	kg 1,4-DCB	-0,59
<b>Marine eutrophication</b>	kg N eq	0,00
<b>Mineral resource scarcity</b>	kg Cu eq	-23,22
<b>Ozone formation, Human health</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	-0,45
<b>Ozone formation, Terrestrial ecos</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	-0,42
<b>Stratospheric ozone depletion</b>	kg CFC11 eq	0,00
<b>Terrestrial acidification</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	-0,01
<b>Terrestrial ecotoxicity</b>	kg 1,4-DCB	-715,23
<b>Water consumption</b>	m <sup>3</sup>	-3,61

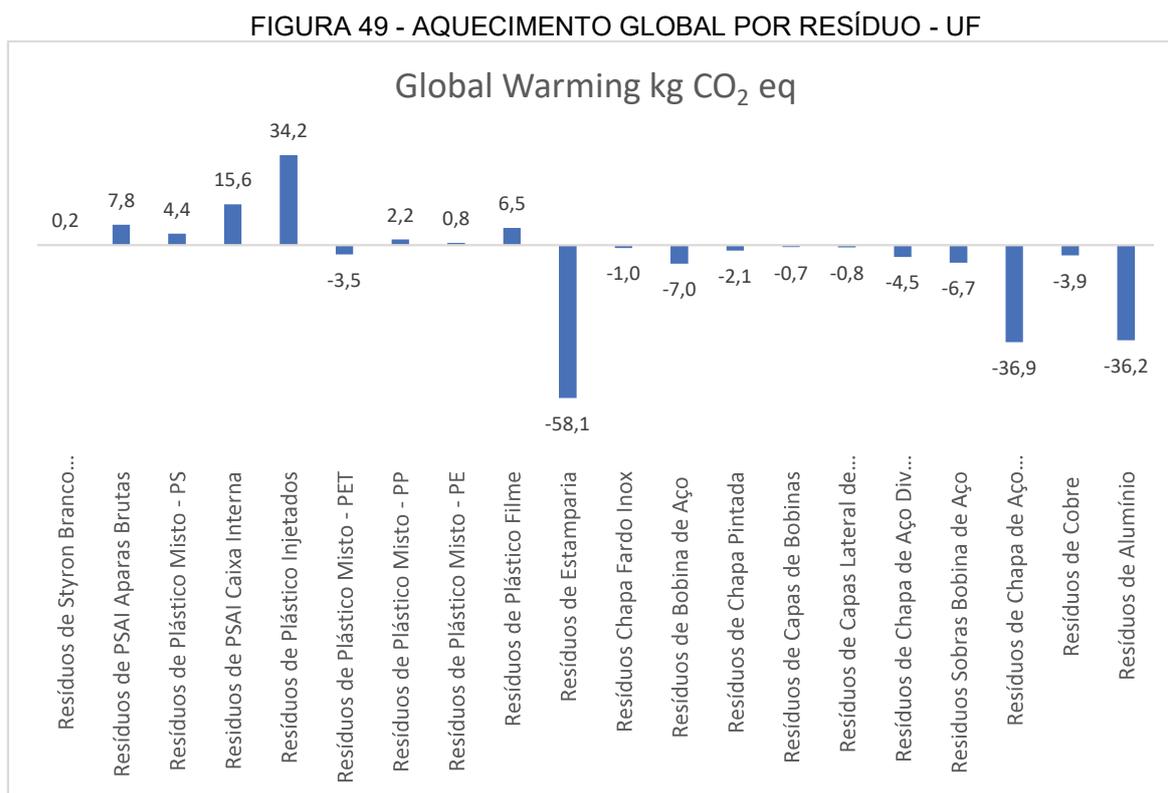
Fonte: A Autora (2022).

Para as categorias com valores significativos, verificou-se a contribuição de cada resíduo para o resultado encontrado, com o objetivo de entender quais os impactos de cada fluxo de referência para a UF.

#### 4.3.1.2.1 Aquecimento global

Os resíduos de poliestireno (PS) são os que possuem os valores mais altos de contribuição negativa em kg de CO<sub>2</sub> equivalente, o resíduo de plásticos injetados com emissão de 34,2 kg CO<sub>2</sub> eq seguido do resíduo de caixa interna com 15,6kg CO<sub>2</sub> eq. Todas as contribuições negativas para esta categoria são de resíduos plásticos.

Já os resíduos de aço e alumínio são os que apresentam maior contribuição positiva dentro da categoria. Para cada t de resíduos reciclados, o resíduo de estamparia contribui com a redução da emissão de 58,1 kg CO<sub>2</sub> eq, o resíduo de chapa de aço diversos tamanhos e alumínio contribuem com a redução de aproximadamente 36 kg CO<sub>2</sub> eq cada (FIGURA 49).

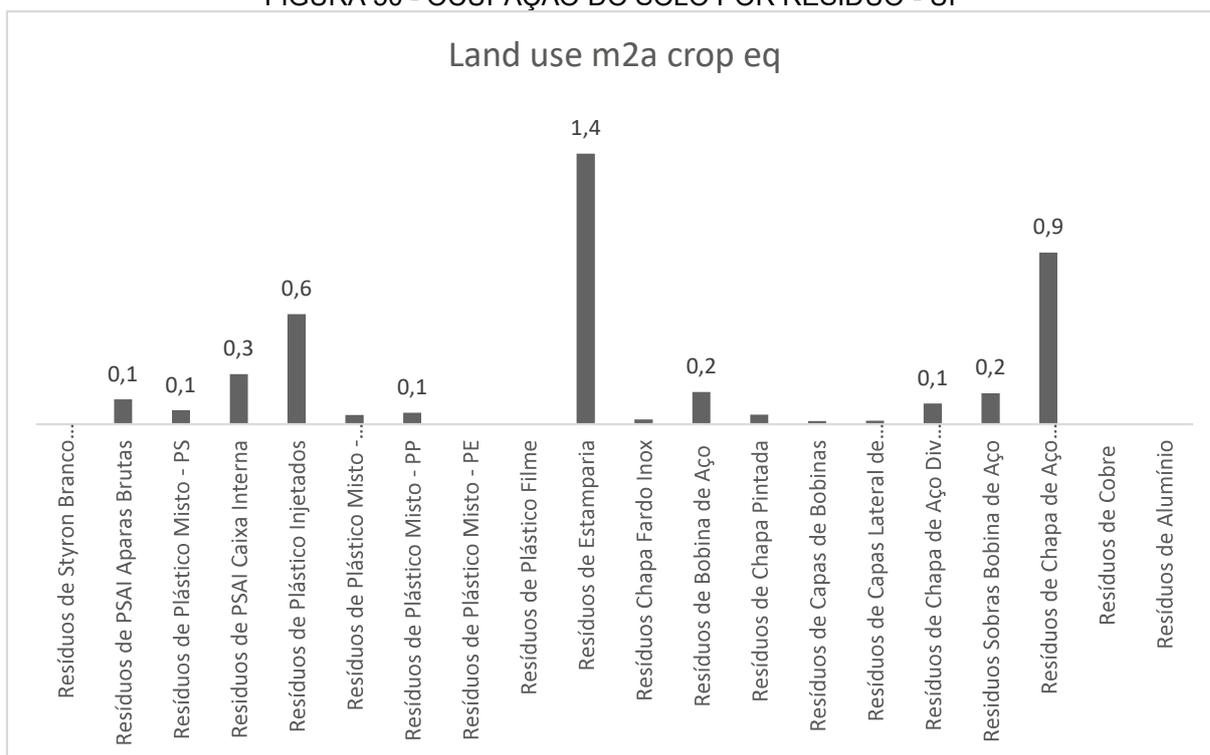


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.2 Ocupação do solo

A categoria de ocupação de solo resultou apenas em impactos negativos, o resíduo de estamparia conta com a maior contribuição (1,4 m<sup>2</sup>a crop eq), seguido do resíduo de chapas de aço (0,9 m<sup>2</sup>a crop eq) e do resíduo de plásticos injetados (0,6 m<sup>2</sup>a crop eq), os resíduos não demonstrados no gráfico não apresentaram contribuição significativa para a categoria (FIGURA 50).

FIGURA 50 - OCUPAÇÃO DO SOLO POR RESÍDUO - UF

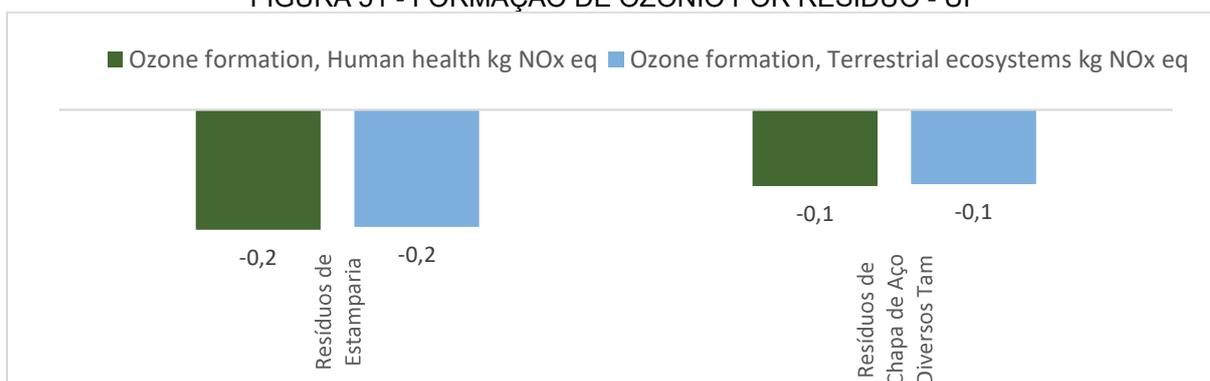


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.3 Formação de ozônio em ecossistemas terrestres e saúde humana

As categorias de impacto de formação de ozônio em ecossistemas terrestres e danos à saúde humana tiveram resultados iguais, apenas os resíduos de estamparia e chapa de aço de diversos tamanhos resultaram em contribuições significativas, sendo elas positivas. Com reduções de 0,2 e 0,1 kg NO<sub>x</sub> eq para cada t de resíduo reciclada (FIGURA 51).

FIGURA 51 - FORMAÇÃO DE OZÔNIO POR RESÍDUO - UF

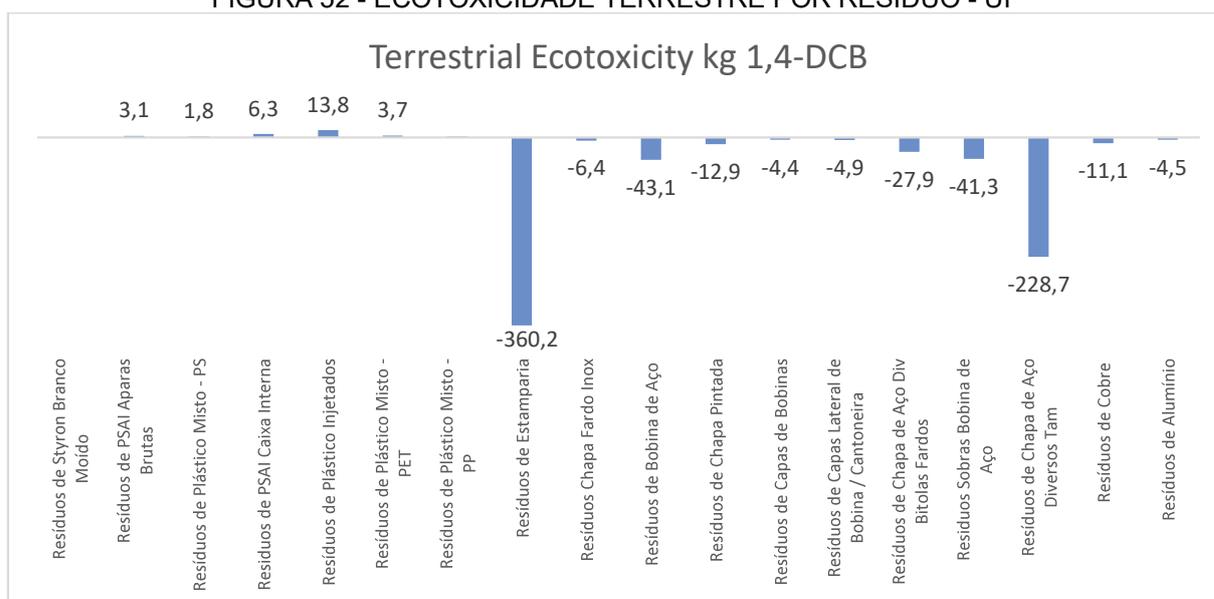


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.4 Ecotoxicidade terrestre

Para a categoria de ecotoxicidade terrestre, os resíduos de aço possuem a maior contribuição positiva. Para cada t de resíduo reciclado o resíduo de estamparia é responsável pela redução de 360,2 kg 1,4-DCB, seguido do resíduo de chapa de aço diversos tamanhos com uma redução de 228,7 kg 1,4-DCB e dos resíduos de bobinas de aço e sobras de bobina de aço com 43,1 e 41,3 kg 1,4-DCB eq respectivamente. Os resíduos de PS, plástico injetado e caixas internas tiveram as maiores contribuições negativas, com a emissão de 13,8 e 6,3 kg 1,4-DCB respectivamente. Nesta categoria de impacto, assim como na categoria de aquecimento global, é possível verificar que todas as contribuições negativas são provenientes dos resíduos de plástico (FIGURA 52).

FIGURA 52 - ECOTOXICIDADE TERRESTRE POR RESÍDUO - UF



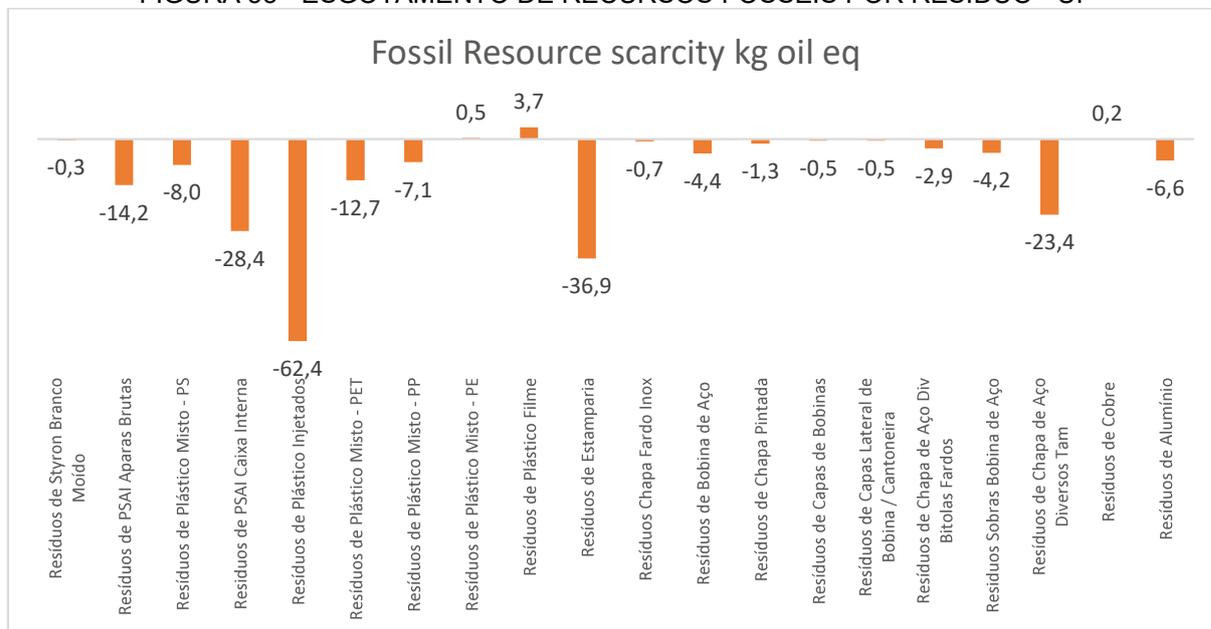
Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.5 Esgotamento de recursos fósseis

Observa-se que para a categoria de impacto de esgotamento de recursos fósseis, o resíduo que possui maior contribuição positiva é o plástico injetado com uma redução de impacto de 62,4 kg oil eq, seguido do resíduo de estamparia e caixa interna, cada um com uma contribuição de 36,9 e 28,4 kg oil respectivamente. Os resíduos de plástico filme, plástico misto PE e cobre são os únicos que possuem

contribuições negativas nesta categoria, 3,7, 0,5 e 0,2 kg oil eq respectivamente, por UF (FIGURA 53).

FIGURA 53 - ESGOTAMENTO DE RECURSOS FÓSSEIS POR RESÍDUO - UF

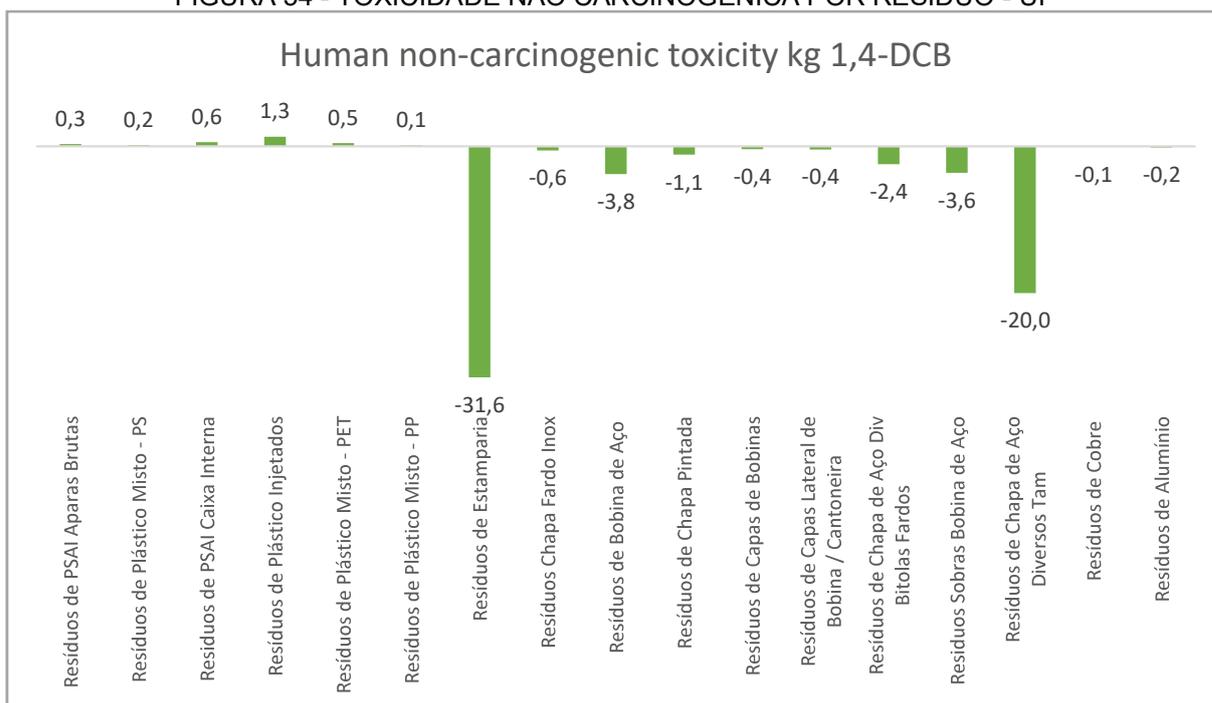


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.6 Toxicidade não carcinogênica em humanos

Para a categoria de impacto de toxicidade não carcinogênica em humanos todas as contribuições positivas foram provenientes dos resíduos de aço, sendo o mais expressivo o resíduo de estamparia com uma redução de emissão de 31,6 kg 1,4-DCB, seguido do resíduo de chapa de aço diversos tamanhos com redução de emissão de 20 kg 1,4-DCB. As contribuições negativas foram observadas apenas para o resíduo de plástico injetado (1,3 kg 1,4-DCB), caixa interna (0,6 kg 1,4-DCB) e plástico misto PET (0,5 kg 1,4-DCB). Mais uma vez todas as contribuições negativas são provenientes dos resíduos de plástico (FIGURA 54).

FIGURA 54 - TOXICIDADE NÃO CARCINOGENÉTICA POR RESÍDUO - UF

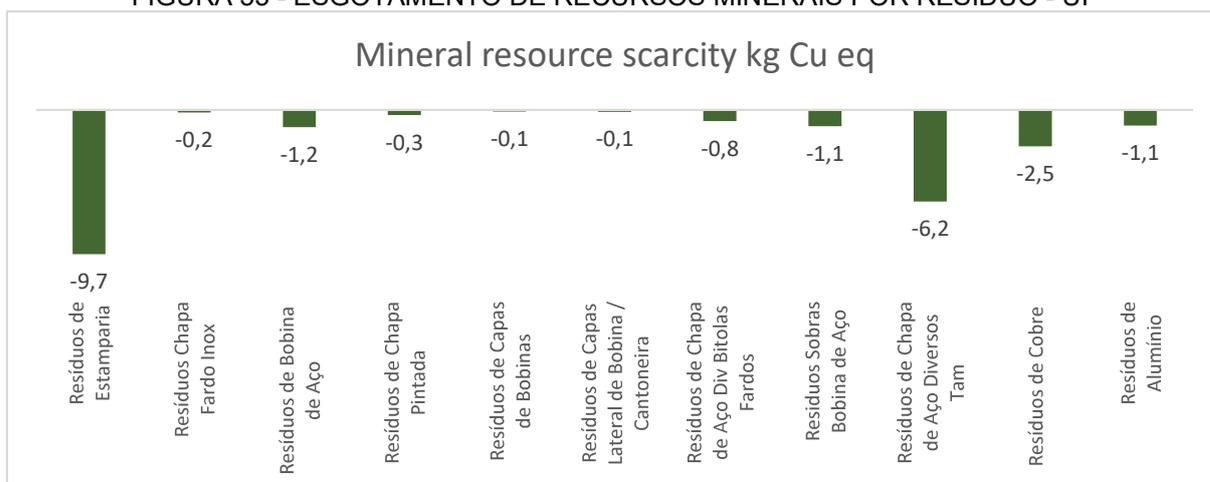


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.7 Esgotamento de recursos minerais

Para a categoria de impacto de esgotamento de recursos minerais, as contribuições foram apenas positivas e somente os resíduos de aço apresentaram valores expressivos. Sendo o resíduo de estamparia o mais representativo (-9,72 kg Cu eq) seguido do resíduo de chapa de aço diversos tamanhos (-6,2 kg Cu eq) e o resíduo de cobre ocupando a terceira melhor contribuição (-2,5 kg Cu eq) (FIGURA 55).

FIGURA 55 - ESGOTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS POR RESÍDUO - UF

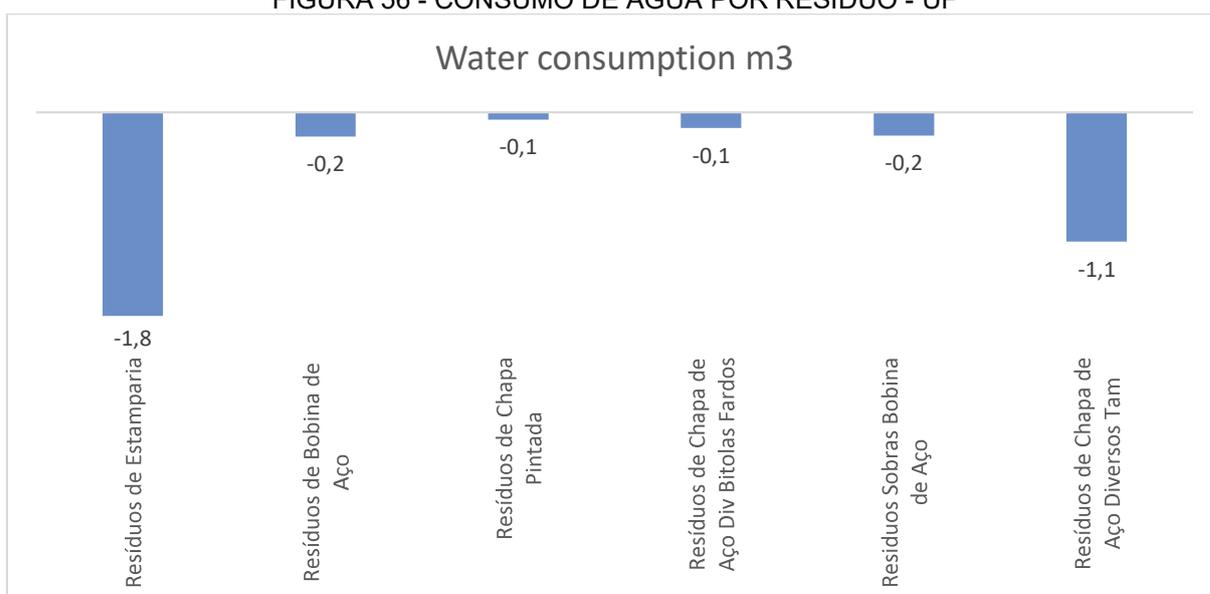


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.8 Consumo de água

Para a categoria de consumo de água foram obtidos apenas contribuições positivas e os resíduos que apresentaram resultados mais expressivos foram os resíduos de aço. Sendo que o resíduo de estamparia é responsável pela redução de impacto de 1,8 m<sup>3</sup>, seguido do resíduo de chapa de aço diversos tamanhos com redução de impacto de 1,1m<sup>3</sup> de consumo de água (FIGURA 56).

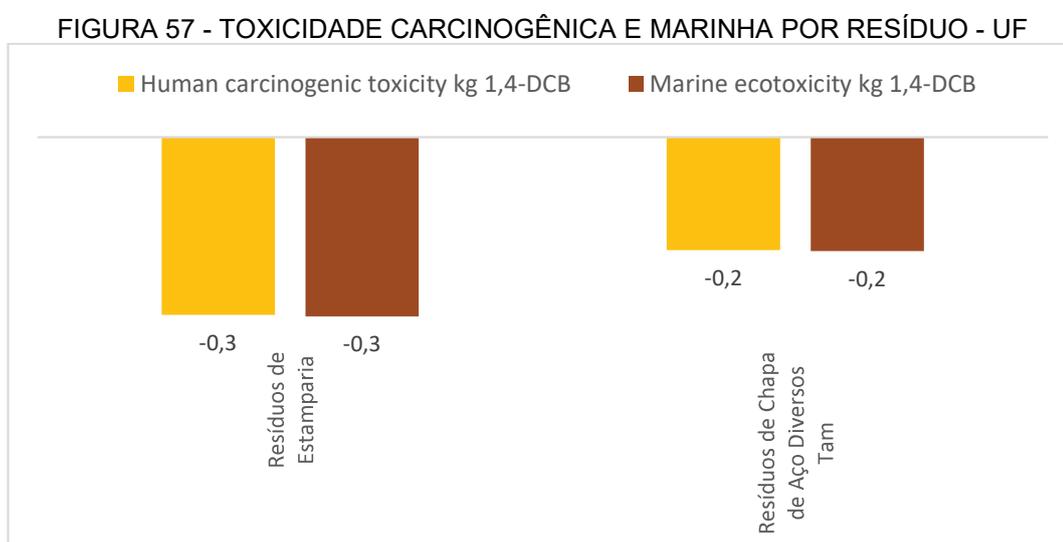
FIGURA 56 - CONSUMO DE ÁGUA POR RESÍDUO - UF



Fonte: A Autora (2022).

#### 4.3.1.2.9 Toxicidade carcinogênica em humanos e ecotoxicidade marinha

Para as categorias de impacto de toxicidade carcinogênica em humanos e ecotoxicidade marinha apenas 2 resíduos tiveram contribuições expressivas, sendo estas positivas. O resíduo de estamparia possui a maior contribuição para ambas, seguido do resíduo de chapa de aço diversos tamanhos da mesma forma para as duas categorias (FIGURA 57).

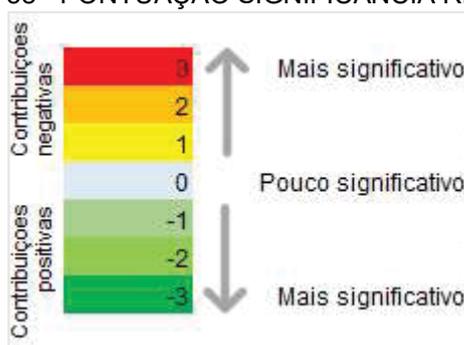


Fonte: A Autora (2022).

#### 4.4 INTERPRETAÇÃO

Durante a avaliação de impacto observou-se que alguns resíduos apresentaram contribuições negativas dentro das categorias de impacto, desta forma foi elaborada uma matriz de significância dos resíduos. Esta matriz considerou as 11 categorias de impacto que apresentaram valores expressivos. Para a elaboração da matriz foi atribuída uma pontuação para cada um dos resíduos, considerando para isso o 1°, 2° e 3° mais significativos (FIGURA 58). Sendo (3) o resíduo com a maior contribuição negativa (deletério) para o meio ambiente e o (-3) o resíduo com a maior contribuição positiva (impactos evitados).

FIGURA 58 - PONTUAÇÃO SIGNIFICÂNCIA RESÍDUOS



Fonte: A Autora (2022).

#### 4.4.1 Transporte

Os resultados obtidos através da verificação da significância dos resíduos na etapa de transporte (QUADRO 11), demonstram que os 3 resíduos considerados mais significativos nesta etapa foram os resíduos de estamparia, plástico filme e chapa de aço diversos tamanhos.

- Resíduo de Estamparia: Além de ser o resíduo mais gerado no processo (FR 35,93%) a distância entre o ponto de geração e o ponto de destinação é de 55 km, sendo um fator impactante para o transporte.
- Resíduo de Plástico Filme: O resíduo de plástico filme, apesar de ter o terceiro em volume de geração (FR 9,34%) possui a distância entre o ponto de geração e destinação de 33 km.
- Resíduo de Chapa de aço diversos tamanhos: é o segundo em volume de geração (FR 22,81%) representa o terceiro resíduo mais significativo, a distância entre o ponto de geração e o destino é de 20km.

QUADRO 11 - MATRIZ DE SIGNIFICÂNCIA ETAPA DE TRANSPORTE

Transporte																				
	Styron Branco Moído	PSAI Aparas Brutas	Plástico Misto - PS	PSAI Caixa Interna	Plástico Injetados	Plástico Misto - PET	Plástico Misto - PP	Plástico Misto - PE	Plástico Filme	Estamparia	Chapa Fardo Inox	Bobina de Aço	Chapa Pintada	Capas de Bobinas	Capas Lateral de Bobina	Chapa de Aço Bitolas	Sobras Bobina de Aço	Chapa de Aço Diversos	Cobre	Alumínio
Fossil resource scarcity	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Global warming	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Human non-carcinogenic toxicity	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Terrestrial ecotoxicity	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: A autora (2022).

Para o cálculo do impacto em cada categoria na etapa de transporte, as informações constantes no inventário indicam que emissões mais significativas foram as de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (0,1519kg/tkm), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) (0,001136kg/tkm), resíduos gerados com o desgaste de freios (2,29 kg/tkm) e resíduos gerados com desgastes da estrada (1,97 kg/tkm) (ECOINVENT, 2022). As emissões de NO<sub>x</sub> estão associadas ao tipo de veículo utilizado. Os veículos classificados como Euro 3 não possuem filtros para este tipo de poluente. Estes valores de emissão podem variar em veículos mais novos e com sistema de filtração de gases.

As formas de reduzir estes impactos são:

- Diminuir as distâncias entre o ponto de geração e o ponto de destinação, aplicando assim o princípio da proximidade, além da redução da geração e a otimização de transporte dos resíduos (BASTIN e LONGDEN, 2009).
- Assegurar uma frota de veículos de transporte mais nova e com tecnologias de filtração de poluentes.

#### 4.4.2 Destinação

Para a etapa de destinação (QUADRO 12), os resíduos com maior significância para as contribuições negativas ao meio ambiente foram os resíduos de

plástico injetado, caixa interna, plástico filme, plástico misto e aparas de PSAI. Já as maiores contribuições positivas foram dos resíduos de estamparia, chapa de aço de diversos tamanhos, bobina de aço e alumínio.

QUADRO 12 - MATRIZ DE SIGNIFICÂNCIA ETAPA DE DESTINAÇÃO

Destinação																				
	Styron Branco Moído	PSAI Aparas Brutas	Plástico Misto - PS	PSAI Caixa Interna	Plástico Injetados	Plástico Misto - PET	Plástico Misto - PP	Plástico Misto - PE	Plástico Filme	Estamparia	Chapa Fardo Inox	Bobina de Aço	Chapa Pintada	Capas de Bobinas	Capas Lateral de Bobina	Chapa de Aço Bitolas	Sobras Bobina de Aço	Chapa de Aço Diversos	Cobre	Alumínio
Fossil resource scarcity	0	0	0	-1	-3	0	0	2	3	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Global warming	0	1	0	2	3	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-1
Human carcinogenic toxicity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Human non-carcinogenic toxicity	0	0	0	2	3	1	0	0	0	-3	0	-1	0	0	0	0	0	-2	0	0
Land use	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Marine ecotoxicity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Mineral resource scarcity	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	0	0	-2	-1	0
Ozone formation, Human health	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Ozone formation, Terrestrial ecos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Terrestrial ecotoxicity	0	0	0	2	3	1	0	0	0	-3	0	-1	0	0	0	0	0	-2	0	0
Water consumption	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	-1	0	0	0	0	0	-2	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>-22</b>	<b>0</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-12</b>	<b>0</b>	<b>-1</b>

Fonte: A Autora (2022).

Como já demonstrado neste documento, a composição atual da Unidade Funcional dos resíduos de plástico e metal da empresa objeto de estudo indica uma contribuição positiva para o meio ambiente. Porém, através da matriz de significância, é possível indicar que caso ocorram alterações na composição da UF, como um aumento de geração de resíduos de plásticos, por exemplo, os níveis de emissões podem aumentar.

Os resíduos com maior significância nas contribuições negativas ao meio ambiente podem ser o foco principal para as ações nos processos internos visando a redução da sua geração. Os resíduos de plásticos injetados e de caixas internas são, em sua maioria, provenientes dos processos de injeção e termoformagem. Estes processos são caracterizados pela utilização de moldes para a produção de peças e além do consumo de matéria prima virgem o há um alto consumo energético. Em

quantidade menor também há geração destes resíduos nas linhas de montagem devido a não conformidades de qualidade por mau manejo ou erros de montagem.

Ações para redução da ineficiência dos processos relacionados a resíduos também podem impactar positivamente os consumos de energia e custos com matéria prima para a empresa.

É importante salientar que a necessidade da redução da geração de resíduos de plástico não implica no aumento da geração dos resíduos que possuem contribuições positivas ao meio ambiente, como é o caso dos resíduos de estamperia e chapas de aço. Os impactos causados pelo uso da matéria prima virgem já foram imputados ao meio ambiente, a reciclagem é apenas uma forma de mitigação, sendo a não geração dos resíduos o principal foco.

Segundo Alcade et al., (2022), o desenvolvimento de pesquisa sobre economia circular nos últimos anos demonstra um comportamento ainda muito focado na reciclagem e recuperação de resíduos. Apesar de ser o primeiro R dentro da metodologia a redução de geração possui número menor de menções em artigos publicados referente ao tema.

O envio dos resíduos para a reciclagem depende de uma segregação efetiva e o desenvolvimento de fornecedores externos que possam reciclar seus materiais. Porém, a redução de geração de resíduos ou até mesmo a reutilização interna dos resíduos gerados no processo dependem de uma série de adequações e desenvolvimento de tecnologias internas para sua viabilização, o que exige investimentos significativos para as empresas (ALCADE et al., 2022).

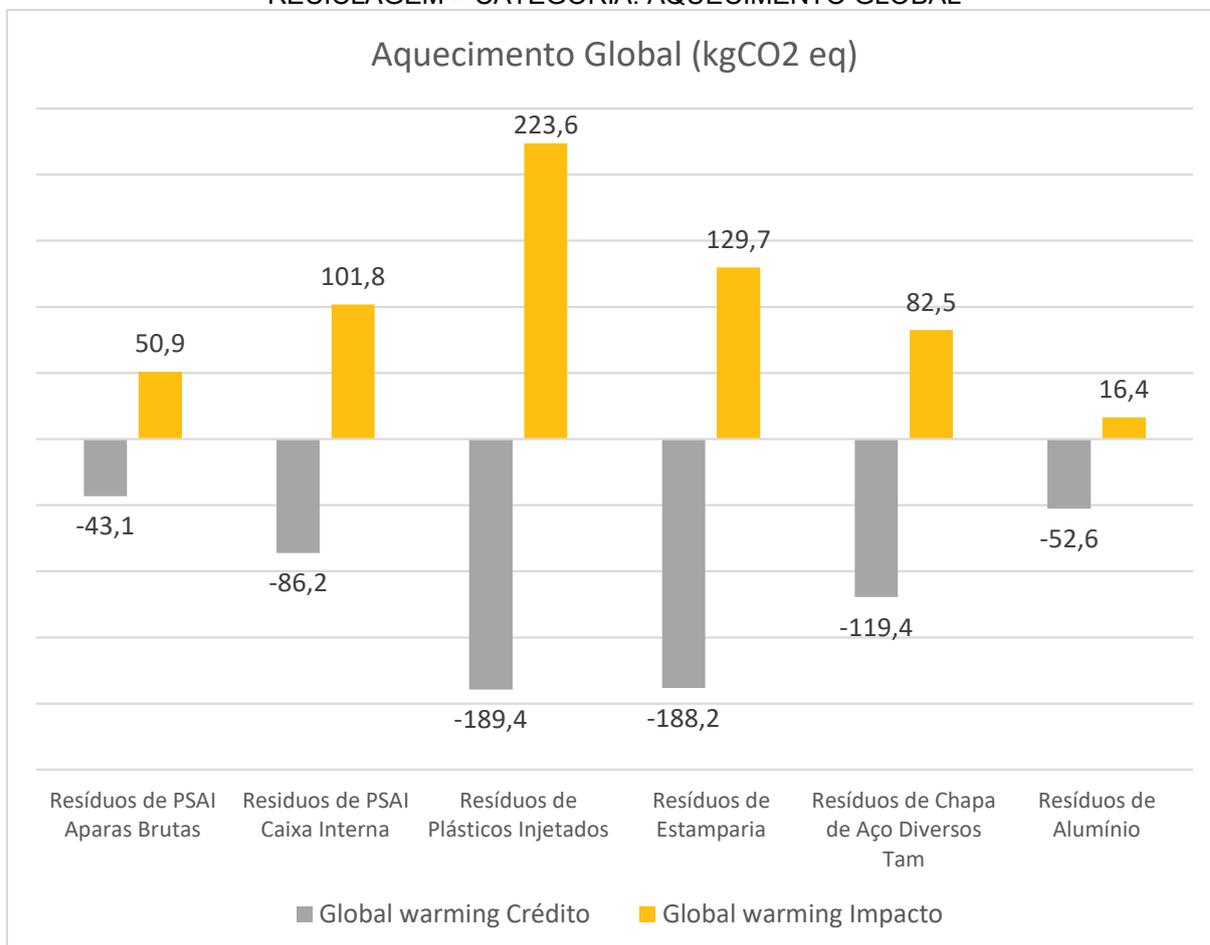
Dentro do software openLCA é possível obter de forma quantificada quais são os créditos e impactos para cada categoria, da mesma forma é possível realizar uma análise considerando os fluxos mais representativos. Os processos de reciclagem de poliestireno possuem um valor mais significativo para os impactos causados do que para os impactos evitados com a sua reciclagem.

Apesar dos valores finais por UF da categoria de impacto de aquecimento global, ecotoxicidade terrestre e toxicidade não carcinogênica em humanos resultarem em impactos positivos ao meio ambiente, foram nestas categorias que os resíduos de plástico apresentaram mais contribuições negativas.

Fazendo a comparação entre os créditos e impactos dos resíduos mais significativos para a categoria de aquecimento global é possível verificar que o valor

final apresenta redução de impactos devido aos resíduos de aço e alumínio (FIGURA 59).

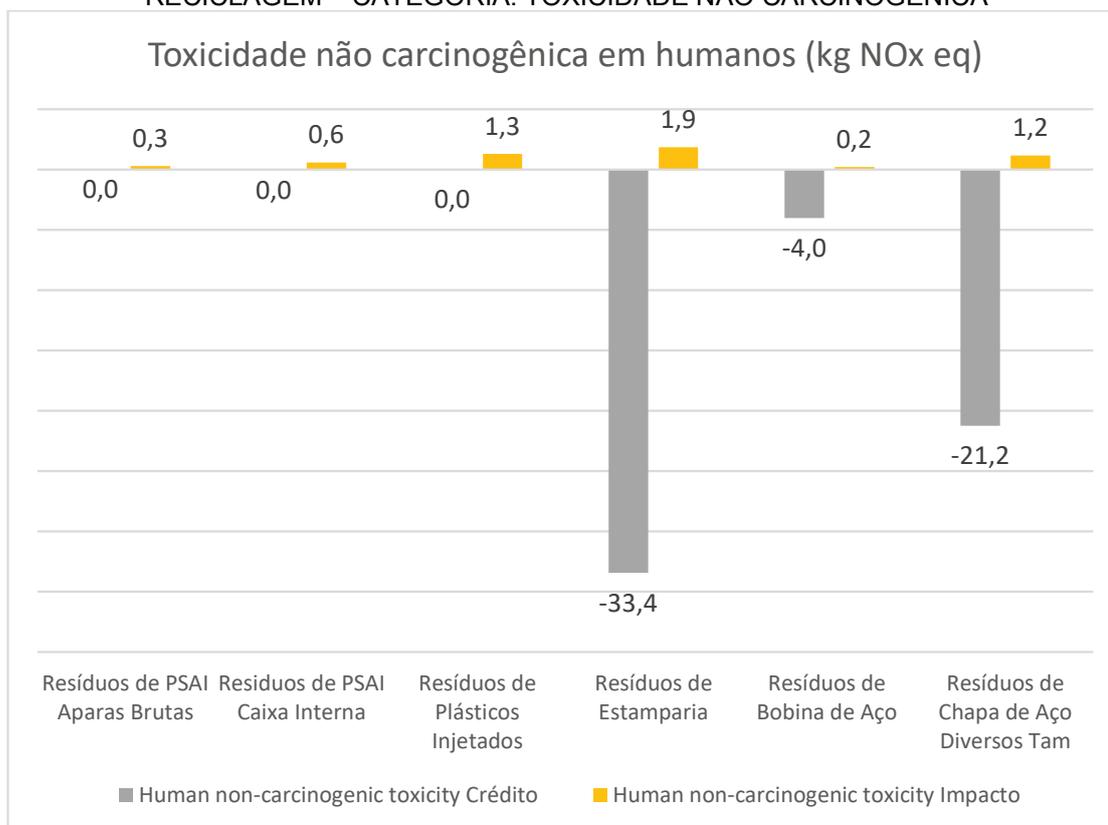
FIGURA 59 - CRÉDITOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM X IMPACTOS DO PROCESSO DA RECICLAGEM – CATEGORIA: AQUECIMENTO GLOBAL



Fonte: openLCA (2022).

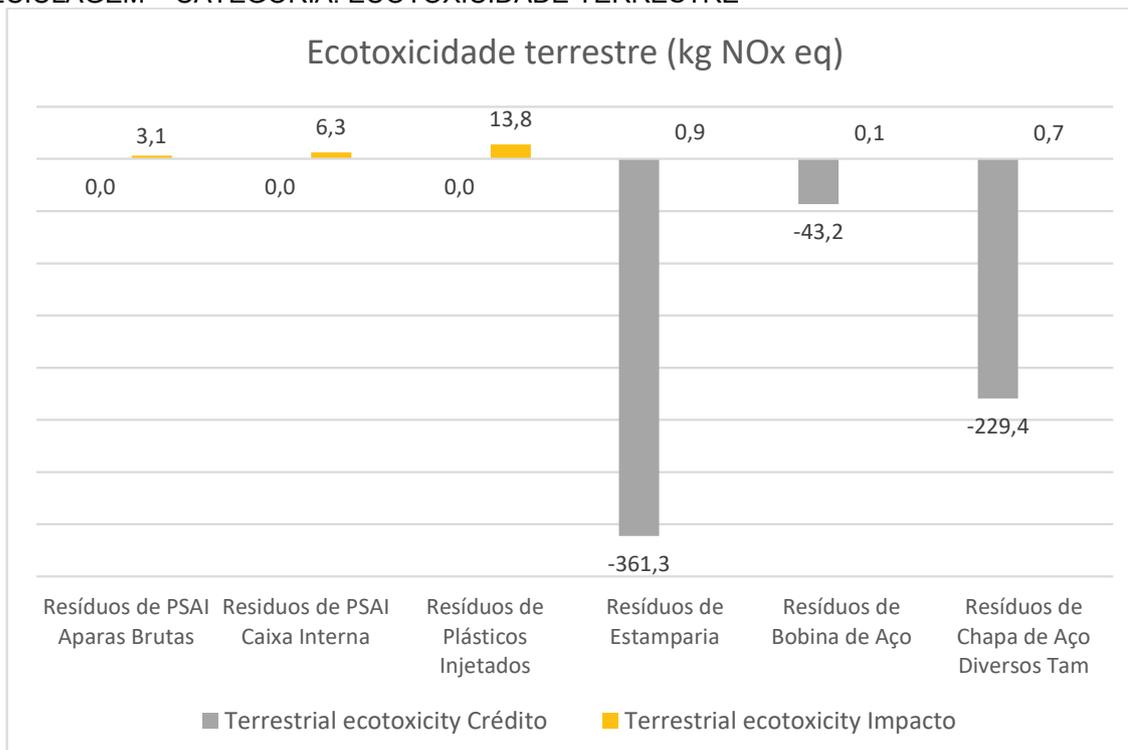
Para as categorias de toxicidade não carcinogênica em humanos (FIGURA 60) e ecotoxicidade terrestre (FIGURA 61), os valores de créditos dos plásticos são inexpressivos se comparados com os impactos gerados, já para os resíduos de aço o comportamento é o contrário, os impactos associados ao processo de reciclagem são inexpressivos se comparados aos créditos.

FIGURA 60 - CRÉDITOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM X IMPACTOS DO PROCESSO DA RECICLAGEM – CATEGORIA: TOXICIDADE NÃO CARCINOGENICA



Fonte: A Autora (2022).

FIGURA 61 - CRÉDITOS OBTIDOS PELA RECICLAGEM X IMPACTOS DO PROCESSO DA RECICLAGEM – CATEGORIA: ECOTOXICIDADE TERRESTRE



Fonte: A Autora (2022).

A única categoria de impacto no conjunto da UF que apresentou impactos negativos, foi a categoria de ocupação de solo, tendo como o resíduo mais significativo o resíduo de estamparia, seguido do resíduo de chapas de aço e plásticos injetados. Para Matilla et al., (2011), a categoria de uso e ocupação do solo representa a área de terras cultiváveis ocupadas para determinado sistema de produção, seja direto ou indireto. No caso da ocupação do solo para o processo de reciclagem, a base de dados Idemat traz a associação da área utilizada para a obtenção de energia para os processos de reciclagem.

Os valores obtidos considerando a unidade funcional para as categorias de impacto as associadas à toxicidade, ecotoxicidade, consumo de água, esgotamento de recursos minerais e fósseis e formação de ozônio estão ligados aos créditos da reciclagem de aço, como já demonstrado. Os créditos neste caso estão relacionados aos impactos evitados nas atividades de mineração para obtenção das matérias primas virgens para a produção de aço.

Para Baeten et al., (2016), os impactos relacionados ao processo de mineração vão desde os resíduos tóxicos gerados pela atividade de mineração que possuem um potencial significativo de contaminação ambiental, até o consumo de água e energia, assim como o esgotamento de recursos não renováveis. Os riscos associados à saúde humana e a poluição ambiental são causados pelos metais pesados presentes em seus rejeitos. Desta forma, considera-se que apesar os impactos relativos ao processo de reciclagem dos resíduos de aço e alumínio, a reciclagem destes materiais ainda é uma opção mais adequada ao meio ambiente que a sua produção utilizando matéria prima virgem.

#### 4.5.2 Estimativa do Potencial Impacto no Período de 2018-2021

No período de 2018 a 2021 a empresa objeto de estudo enviou para reciclagem o total 15.214 t de resíduos de plásticos e de metais. Considerando os valores já mencionados por UF para transporte e destinação (TABELA 7). Os valores em vermelho são as contribuições negativas e os valores em verde são as contribuições positivas da reciclagem em todo o período. Para a etapa de transporte, apenas as categorias de impacto de aquecimento global, esgotamento de recursos fósseis, toxicidade não carcinogênica e ecotoxicidade terrestre apresentaram valores relevantes.

Para a etapa de destinação as categorias de impacto de formação de material particulado, ecotoxicidade em água doce, eutrofização em água doce, radiação ionizante; eutrofização marinha, depleção da camada de ozônio e acidificação terrestre foram as categorias com valores inexpressivos por UF, desta forma não foram considerados para este cálculo estimativo.

TABELA 7 - RESULTADOS CATEGORIAS DE IMPACTO ESTIMADO 2018 A 2021

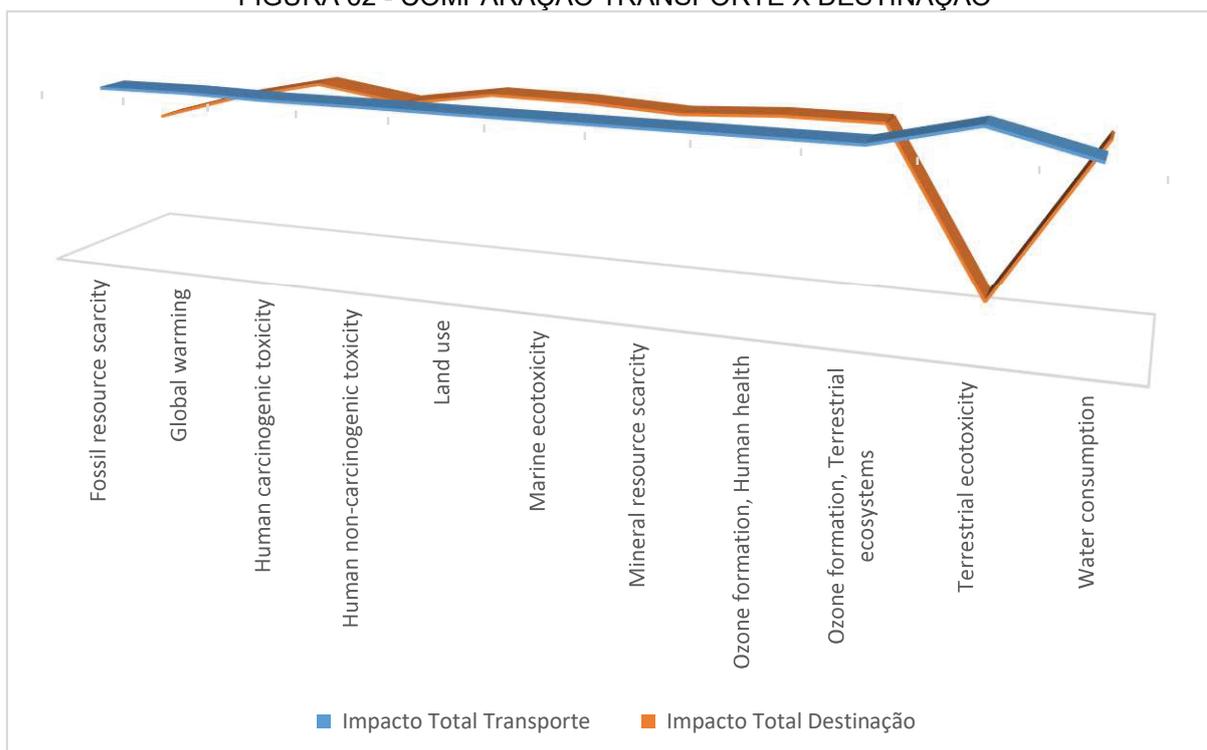
<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Impacto Total Transporte</b>	<b>Impacto Total Destinação</b>
<b>Fossil resource scarcity</b>	kg oil eq	<b>33.519,3</b>	<b>-3.194.692,0</b>
<b>Global warming</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	<b>102.438,7</b>	<b>-1.363.257,5</b>
<b>Human carcinogenic toxicity</b>	kg 1,4-DCB	-	<b>-9915,6</b>
<b>Human non-carcinogenic toxicity</b>	kg 1,4-DCB	<b>27.123,6</b>	<b>-930.790,6</b>
<b>Land use</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	-	<b>59.615,6</b>
<b>Marine ecotoxicity</b>	kg 1,4-DCB	-	<b>-8.967,0</b>
<b>Mineral resource scarcity</b>	kg Cu eq	-	<b>-353.246,0</b>
<b>Ozone formation, Human health</b>	kg NOx eq	-	<b>-6.874,2</b>
<b>Ozone formation, Terrestrial ecos</b>	kg NOx eq	-	<b>-6.417,7</b>
<b>Terrestrial ecotoxicity</b>	kg 1,4-DCB	<b>1.589.926,0</b>	<b>-10.881.458,7</b>
<b>Water consumption</b>	m <sup>3</sup>	-	<b>-54.964,8</b>

Fonte: A Autora (2022).

Comparando as duas etapas a destinação é a que possui maior representatividade. A etapa de transporte representada pela linha azul possui o maior deslocamento positivo na ordenada para a categoria de impacto de ecotoxicidade terrestre, mas o deslocamento negativo na ordenada para a linha laranja, que representa a etapa de destinação é expressivamente maior (FIGURA 62).

As demais categorias de impacto não apresentam variações significativas para a etapa de transporte, já para a etapa de destinação é possível verificar um deslocamento negativo na ordenada para as categorias de impacto de esgotamento de recursos fósseis, aquecimento global e toxicidade não carcinogênica, demonstrando que as contribuições negativas para estas categorias são maiores para a etapa de transporte. As outras categorias de impacto não sofrem alterações significativas com relação as duas etapas de gerenciamento.

FIGURA 62 - COMPARAÇÃO TRANSPORTE X DESTINAÇÃO



Fonte/ A Autora (2022).

Considerando o somatório dos valores de cada categoria de impacto para as duas etapas avaliadas a maior contribuição positiva a de ecotoxicidade terrestre e a maior contribuição negativa ao meio ambiente é da categoria de ocupação do solo (TABELA 8).

TABELA 8 - SALDO DE IMPACTOS 2018 A 2021

Categoria de impacto	Unidade	Impacto Total Transporte	Impacto Total Destinação	Saldo
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1589926,0	-10881458,7	-9 291 532,73
Fossil resource scarcity	kg oil eq	33519,3	-3194692,0	-3 161 172,71
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq	102438,7	-1363257,5	-1 260 818,75
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	27123,6	-930790,6	-903 666,99
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	-	-353246,0	-353246,0
Water consumption	m <sup>3</sup>	-	-54964,8	-54964,8
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	-	-9915,6	-9915,6
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	-	-8967,0	-8967,0
Ozone formation, Human health	kg NO <sub>x</sub> eq	-	-6874,2	-6874,2
Ozone formation, Terrestrial ecos	kg NO <sub>x</sub> eq	-	-6417,7	-6417,7
Land use	m <sup>2</sup> a crop eq	43,6	59615,6	59 659,27

Considerando que a empresa objeto de estudo possui um programa interno com objetivo de eliminar as emissões de carbono de suas operações até 2050, foi realizada uma estimativa de emissão de CO<sub>2</sub>. Baseando-se nos resíduos de maior significância para as contribuições negativas na categoria de impacto de aquecimento global (plásticos injetados, caixas internas e aparas brutas) no período avaliado (2018 a 2021) para as duas etapas de manejo (TABELA 9).

TABELA 9 - EMISSÕES CO<sub>2</sub> RESÍDUOS SIGNIFICATIVOS

<b>Global warming (kg CO<sub>2</sub> eq)</b>			
	Transporte	Destinação	Total
<b>Plásticos injetados</b>	2.531	520.271	522.802
<b>Caixas internas</b>	1.151	236.794	237.945
<b>Aparas brutas</b>	576	118.397	118.973
		Total de emissões	879.720

Fonte: A Autora (2022).

De acordo com a estimativa de impacto potencial, a reciclagem dos três resíduos mais significativos representa a emissão de 879,7 t CO<sub>2</sub> eq para o período entre 2018 e 2021. Este impacto deve ser considerado na adoção de medidas de mitigação, compra de créditos de carbono e evidentemente para a adoção de medidas de redução de resíduos.

Para efeitos deste estudo, não estão sendo comparadas diferentes tecnologias de destinação para estes plásticos e sim quais são os impactos associados exclusivamente à reciclagem, baseando-se na modelagem presente na base de dados utilizada. É importante salientar, porém, que os resultados obtidos para este estudo podem sofrer alterações caso seja possível realizar uma modelagem considerando os impactos ambientais para a reciclagem de resíduos no cenário brasileiro.

## 5. CONCLUSÕES

A definição do objetivo e do escopo do estudo foi realizada conforme exige a norma ISO 14.040/2014, sendo revisados e adequados conforme a necessidade e disponibilidade de dados primários, dados secundários e base de dados. Neste sentido, os resíduos recicláveis metálicos e plásticos foram avaliados quanto aos potenciais de gerenciamento.

Considerando objetivo e escopo, o mapeamento do processo de gerenciamento de resíduos da empresa objeto deste estudo foi finalizado e através das observações realizadas em campo e toda a análise documental, conclui-se que a empresa avaliada apresenta um plano estruturado para melhoria dentro dos processos de gerenciamento de resíduos. Evidenciado através dos controles existentes para o correto manejo dos resíduos desde o ponto de geração até a destinação em prestadores homologados.

Assim como a busca por alternativas de reciclagem para os resíduos em detrimento do envio para incineração sem reaproveitamento energético, aterro industrial e reaproveitamento energético. Entre 2019 e 2021 houve uma redução de aproximadamente 29% na quantidade de resíduos totais gerados por produto. No ano de 2021 o envio dos resíduos para aterro e reaproveitamento energético foi de 0,5 e 1,2% respectivamente. Indicando a reciclagem de mais de 98% do total de resíduos.

Para a realização do inventário dos resíduos foram considerados os dados relativos aos resíduos de plástico e de metal gerados no processo produtivo, uma vez que são os mais representativos dentro do grupo dos resíduos de produção passíveis à modelagem dentro da base de dados utilizada. Na etapa de levantamento e análise de inventário foram definidos os Fluxos de Referência para cada um dos 20 resíduos que compunham o conjunto de resíduos avaliados.

Na etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida, os resultados encontrados relativos à etapa de transporte apontaram apenas contribuições negativas ao meio ambiente para 4 das 18 categorias de impacto analisadas (ecotoxicidade terrestre, aquecimento global, esgotamento de recursos fósseis e toxicidade não carcinogênica em humanos). Na etapa de destinação, para as 18 categorias de impacto avaliadas, 10 apresentaram resultados positivos para o meio ambiente (ecotoxicidade terrestre, esgotamento de recursos fósseis, aquecimento global, toxicidade não carcinogênica em humanos, esgotamento de recursos minerais, consumo de água, toxicidade

carcinogênica em humanos, ecotoxicidade marinha, formação de ozônio saúde humana e formação de ozônio em ecossistemas) por meio dos créditos da reciclagem. Neste caso apenas a categoria de uso ocupação do solo apresentou contribuição negativa ao meio ambiente e 7 apresentaram resultados inexpressivos.

Considerando os dados obtidos nas etapas de AICV e interpretação, foi possível criar uma matriz de significância dos resíduos avaliados. Desta forma, os resíduos mais significativos foram classificados. Os resíduos que possuem maior impacto negativo são os resíduos de plásticos injetados e de caixas internas, já os resíduos com maior impacto positivo foram os resíduos de estamperia e chapas de aço diversos tamanhos. Este apontamento pode servir de suporte para eventuais tomadas de decisão de melhorias em processos objetivando uma redução da geração dos resíduos e priorizando a hierarquia de gestão de resíduos.

Na fase da interpretação dos dados obtidos na etapa de AICV, foi realizada a verificação dos fluxos de contribuição dentro de cada categoria de impacto e cada etapa de manejo. Para a etapa de transporte o fator com maior relevância foi o volume de resíduos transportado e a distância até o ponto de destinação. Tendo como a emissão de CO<sub>2</sub> e de NO<sub>x</sub> as maiores contribuições negativas ao meio ambiente.

Para a etapa de destinação os fluxos mais representativos foram os associados a reciclagem do poliestireno, como contribuição negativa em 3 categorias de impacto (aquecimento global, ecotoxicidade terrestre, toxicidade não carcinogênica em humanos). Já os fluxos associados à reciclagem de aço foram responsáveis pela maior parte dos créditos de impacto que apresentaram resultados positivos ao meio ambiente.

A estimativa dos impactos potenciais ao meio ambiente causados pelo processo de transporte e destinação dos resíduos de plástico e metal, foi realizada considerando os valores por UF e a quantidade total de resíduos gerados neste período. Para cada etapa o comportamento entre as categorias foi o mesmo observado para a UF. O ponto importante da estimativa de impacto potencial foi a realização do saldo de cada categoria, uma vez que os impactos negativos da etapa de transporte foram abatidos dos créditos da etapa de destinação. Tendo no período avaliado, apenas o impacto de ocupação de solo como contribuição negativa para o meio ambiente.

É importante salientar que os resultados obtidos para cada categoria de impacto foram baseados em valores conhecidos para reciclagem de resíduos de

países da Europa, Estados Unidos e China. Os resultados podem sofrer alterações se calculados por uma base de dados que comporte os impactos ambientais para a reciclagem dos resíduos considerando a realidade brasileira, o que ainda não está disponível. Porém, o presente estudo demonstra a importância da criação destes dados regionalizados para uma interpretação mais adequada, considerando a necessidade das empresas e do governo brasileiro de desenvolver políticas públicas e tecnologias de redução dos impactos causados pela gestão de resíduos.

Para efeitos deste estudo, conclui-se, portanto, que a reciclagem dos resíduos de aço e alumínio é mais benéfica ao meio ambiente que a reciclagem dos resíduos de plástico. A redução dos resíduos de plástico deve ser o foco principal no desenvolvimento de tecnologias e melhoria contínua dos processos, pois eles possuem, mesmo que diluídos na UF, valores consideráveis de emissão de CO<sub>2</sub> em seus processos de destinação.

As medidas adotadas pela empresa objeto de estudo para melhoria nos processos de gerenciamento, com a redução expressiva da geração de resíduos por produto ao longo do período estudado. Assim como a busca de formas mais sustentáveis para a destinação dos resíduos representam uma contribuição significativa do ponto de vista de avaliação de ciclo de vida e corrobora com as diretrizes do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável número 12, “Consumo e produção responsáveis”. Da mesma forma, que está em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010 onde são estabelecidas as responsabilidades dos grandes geradores de resíduos para com a redução dos impactos causados por sua gestão.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, Nabaz Nawzad; ANWAR, Govand. An Empirical Analysis of Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Transportation. **International Journal of English Literature and Social Sciences**, v. 6, n. 1, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC nº306 de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Disponível em: <[https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com\\_gmg&controller=document&id=884](https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com_gmg&controller=document&id=884)> Acesso em 18/02/2022.

ALCALDE-CALONGE, Alberto; SÁEZ-MARTÍNEZ, Francisco José; RUIZ-PALOMINO, Pablo. Evolution of research on circular economy and related trends and topics. A thirteen-year review. **Ecological Informatics**, p. 101716, 2022.

ANSHASSI, Malak; SMALLWOOD, Thomas; TOWNSEND, Timothy G. Life cycle GHG emissions of MSW landfilling versus Incineration: Expected outcomes based on US landfill gas collection regulations. **Waste Management**, v. 142, p. 44-54, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR ISO 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014.

BAETEN, John; LANGSTON, Nancy; LAFRENIERE, Don. A geospatial approach to uncovering the hidden waste footprint of Lake Superior's Mesabi Iron Range. **The Extractive Industries and Society**, v. 3, n. 4, p. 1031-1045, 2016.

BARBADO, Norma; LEAL, Antonio Cezar. Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e29110313290-e29110313290, 2021.

BARBIERI, Alisson F. et al. Atividades antrópicas e impactos ambientais. **Biodiversidade, população e economia: uma região de mata atlântica [Biodiversity, population and economy: a region of Atlantic forest]**, p. 273-343, 1997.

BASTIN, Lucy; LONGDEN, David M. Comparing transport emissions and impacts for energy recovery from domestic waste (EfW): Centralised and distributed disposal options for two UK Counties. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 33, n. 6, p. 492-503, 2009.

BOHANA, Mirela Carvalho Ribeiro; DA PORCIUNCULA, Débora Carol Luz; MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. Direito a um meio ambiente sustentável: contribuições da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 21, p. 47-62, 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva de lixo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 19 jun. 2001.

BRASIL. Instituto Água e Terra. Portaria nº 212 de 12 de setembro de 2019. Estabelece procedimentos e critérios para exigência e emissão de Autorizações Ambientais para as Atividades de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Disponível em:

<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=382463>> Acesso em 28/02/2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)> Acesso em 27/02/2022.

BURIGO, André Campos; PORTO, Marcelo Firpo. Agenda 2030, saúde e sistemas alimentares em tempos de pandemia: da vulnerabilização à transformação necessária. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, p. 4411-4424, 2021.

CHANGE, I. P. O. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. **Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan**, 2006.

DE ARAUJO, Geraldo Jose Ferraresi. O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 57, 2020.

DEGENHART, Larissa et al. Ranking setorial do grau de evidenciação ambiental das empresas brasileiras listadas no IBrX-100. **REGE-Revista de Gestão**, v. 23, n. 4, p. 326-337, 2016.

DEKKER, Erik et al. A taste of the new ReCiPe for life cycle assessment: Consequences of the updated impact assessment method on food product LCAs. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 12, p. 2315-2324, 2020.

DIAGNÓSTICO DO MANEJO DE RESÍDUOS 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019>>. Acesso em 28/02/2022.

DJALANTE, Riyanti. Key assessments from the IPCC special report on global warming of 1.5 C and the implications for the Sendai framework for disaster risk reduction. **Progress in Disaster Science**, v. 1, p. 100001, 2019.

ECOD DESENVOLVIMENTO: Esquema de Lixão, Aterro Controlado e Aterro Sanitário. Disponível em: <https://vigilantesdomeioambiente.wordpress.com/2012/03/15/voce-sabe-a-diferenca-entre-lixao-aterro-controlado-e-aterro-sanitario/>. Acesso em: 17/11/2022.

FIGUEIREDO, Fábio Fonseca; BASTOS, Valeria Pereira; MENESES, Carla Gracy Ribeiro. Uma década da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **REVISTA CIÊNCIAS DA SOCIEDADE**, v. 4, n. 8, p. 30-42, 2020.

FINNVEDEN, Göran et al. Recent developments in life cycle assessment. **Journal of environmental management**, v. 91, n. 1, p. 1-21, 2009.

GHARFALKAR, Mangesh et al. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. **Waste management**, v. 39, p. 305-313, 2015.

GOEDKOOOP, Mark et al. ReCiPe 2008. **A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**, v. 1, p. 1-126, 2009.

GUINEE, Jeroen B. et al. Life cycle assessment: past, present, and future. 2011.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Instrução Normativa Ibama nº 13, Lista Brasileira de Resíduos Sólidos. 18 de dezembro de 2012.

JIA, Gensuo et al. Land–climate interactions. In: **Special Report on Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. IPCC, 2019. p. 133-206.

JUNGES, Alexandre Luis et al. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências. Cuiabá. Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151**, 2018.

LAZAREVIC, David; VALVE, Helena. Narrating expectations for the circular economy: Towards a common and contested European transition. **Energy Research & Social Science**, v. 31, p. 60-69, 2017.

LEITE, Nirlania Diógenes et al. Lixões, aterros controlados e aterros sanitários: o que mudou no Brasil após a publicação da Lei Federal 12.305/2010. 2019.

LIMA, Rodolfo M. et al. Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. **Waste Management**, v. 74, p. 323-334, 2018.

LÖFGREN, Birger; TILLMAN, Anne-Marie; RINDE, Björn. Manufacturing actor's LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 17-18, p. 2025-2033, 2011.

LUTHRA, Sunil et al. Resources melioration and the circular economy: Sustainability potentials for mineral, mining and extraction sector in emerging economies. **Resources Policy**, v. 77, p. 102652, 2022.

MAIELLO, Antonella; BRITTO, Ana Lucia Nogueira de Paiva; VALLE, Tatiana Freitas. Implementação da política nacional de resíduos sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, p. 24-51, 2018.

MATTILA, Tuomas et al. Land use in life cycle assessment. 2011.

MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo Roberto. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, p. 160-175, 2015.

MOTA, José Carlos et al. Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. **Águas Subterrâneas**, 2009.

OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.

Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/>> Acesso em 01/03/2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração da Conferência da ONU sobre o Ambiente Humano** - Estocolmo, 5-16 de junho de 1972.

PANORAMA, DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. ABRELPE, 2021. 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em 27/02/2022.

PHILIPPI JUNIOR, A. et al. Histórico e evolução do sistema de gestão ambiental no Brasil. **PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRO, MA; BRUNA, GC Curso de gestão ambiental**, v. 2, 2014.

PIEKARSKI, Cassiano Moro et al. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 3, 2012.

PIRES, Ana; MARTINHO, Graça. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. **Waste Management**, v. 95, p. 298-305, 2019.

PÖRTNER, Hans-Otto et al. IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change. 2021.

RABELO, Ananza M.; OLIVEIRA, Danielly B. de. Impactos ambientais antrópicos e o surgimento de pandemias. **Unifesspa: Painel Reflexão em tempos de crise**, v. 26, p. 1-7, 2020.

RAMOS, Angelita Messias. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Revista Jurídica do Ministério Público do Estado do Tocantins**, v. 1, n. 19, 2021.

RECIPE 2016. Disponível em: <<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>>. Acesso em: 18/02/2022.

**Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum”** – definição e princípios.

Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod\\_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf)> Acesso em 24/02/2022.

ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e cultura**, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SOBRINHO, Paulo Emílio Alves Miranda et al. Gestão de resíduos sólidos no polo industrial de Manaus, Amazônia, Brasil. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 10, n. 2, p. 212-234, 2020.

UNFCCC (2021) Glasgow Climate Pact. Relatório COP26. Disponível em: <[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26\\_auv\\_2f\\_cover\\_decision.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf)>. Acesso em 24/02/2022.

YAMOAH, Fred A. et al. Demystifying corporate inertia towards transition to circular economy: A management frame of reference. **International Journal of Production Economics**, v. 244, p. 108388, 2022.

YANG, Yi. Two sides of the same coin: consequential life cycle assessment based on the attributional framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 127, p. 274-281, 2016.

ZAMAN, Atiq Uz; LEHMANN, Steffen. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’. **Journal of cleaner production**, v. 50, p. 123-132, 2013.

ZANGHELINI, Guilherme Marcelo et al. Análise da evolução dos temas de pesquisa da ACV no Brasil baseada na relação de co-words. **LALCA: Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, 2016.

ZHANG, Zhen et al. Environmental impacts of hazardous waste, and management strategies to reconcile circular economy and eco-sustainability. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150856, 2022.