

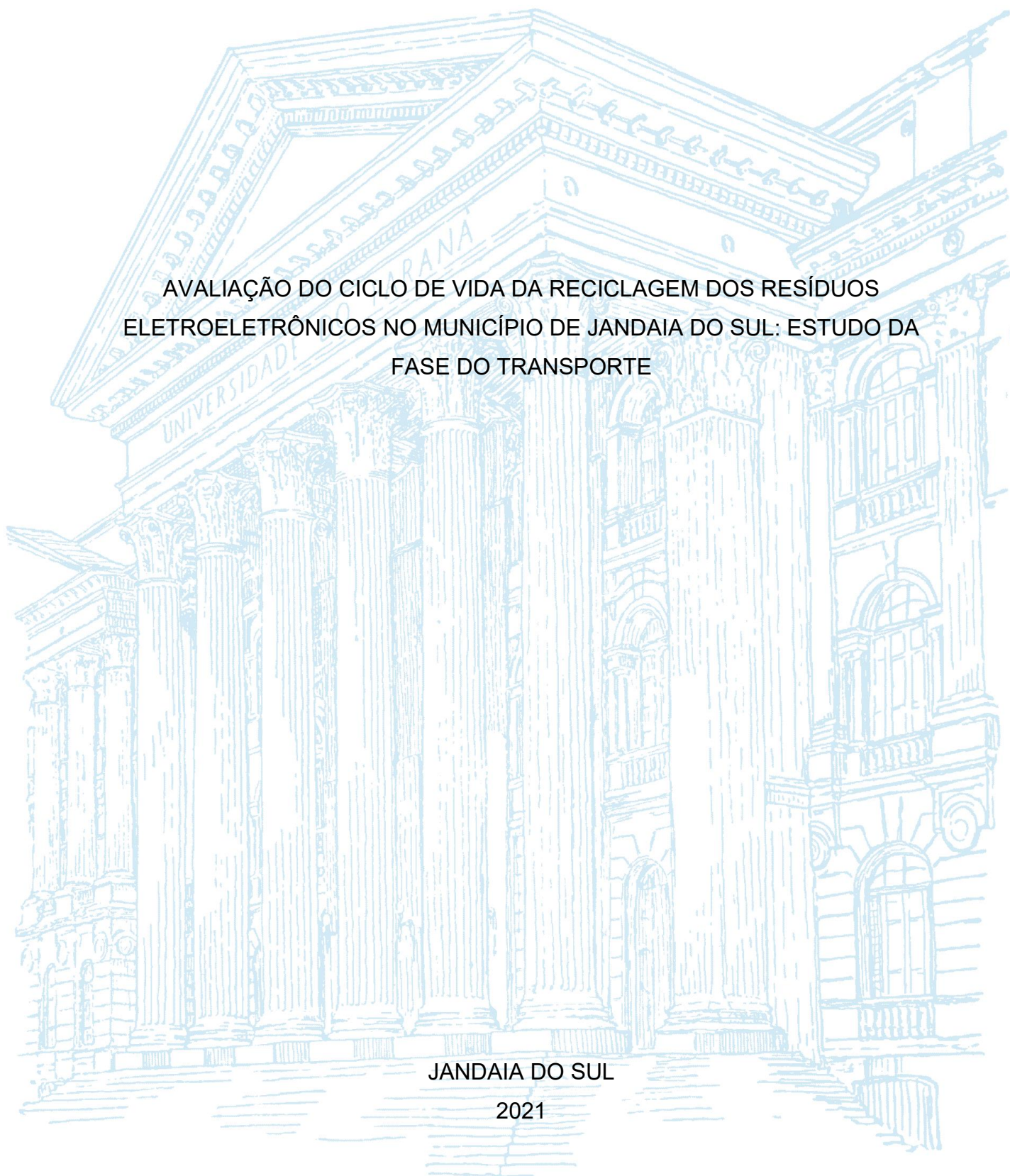
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA GUEDES CESSSEL

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS NO MUNICÍPIO DE JANDAIA DO SUL: ESTUDO DA
FASE DO TRANSPORTE

JANDAIA DO SUL

2021



BRUNA GUEDES CESSSEL

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS NO MUNICÍPIO DE JANDAIA DO SUL: ESTUDO DA
FASE DO TRANSPORTE

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao curso de graduação de Engenharia de Produção, Campus Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón-Canchumani

JANDAIA DO SUL

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/UFPR
Biblioteca do Campus Jandaia do Sul
Bibliotecária: Neide Olga S. Paula – CRB 9/1477

C422a Cessel, Bruna Guedes
Avaliação do ciclo de vida da reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos no município de Jandaia do Sul: estudo da fase do transporte / Bruna Guedes Cessel. - Jandaia do Sul, 2021.
91f.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lóvon Canchumani
Trabalho de conclusão de curso II apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

1. Análise de ciclo de vida – eletroeletrônicos. 2. Gestão ambiental. 3. Reciclagem. 4. Transporte. I. Canchumani, Giancarlo Alfonso Lóvon. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 628.44



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº

043 BRUNA GUEDES CESSEL/2021/UFPR/R/JA/CCEP

PROCESSO Nº

23075.079917/2019-87

INTERESSADO:

BRUNA GUEDES CESSEL

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS NO MUNICÍPIO DE JANDAIA DO SUL: ESTUDO DA FASE DO
TRANSPORTE

AUTORA: BRUNA GUEDES CESSEL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, APROVADO PELA
SEGUINTE BANCA EXAMINADORA.

Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani (orientador)

Dr. Raimundo Alberto Tostes

Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, VICE / SUPLENTE COORDENADOR(A) DE CURSO DE GRADUACAO (CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUCAO) - JA**, em 13/04/2021, às 11:03, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ GAZOLI DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/04/2021, às 13:59, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAIMUNDO ALBERTO TOSTES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/04/2021, às 14:09, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **3436258** e o código CRC **08DD6056**.

Dedico esse trabalho à minha mãe, que sempre foi minha maior apoiadora.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas me ajudaram ao longo dessa trajetória, mas gostaria de agradecer, em especial:

- Meu orientador, professor Giancarlo, por ter me aceitado como orientanda e ter me ajudado durante todo o processo de escrita e concepção do trabalho;
- Os professores Raimundo e André, por terem aceitado fazer parte da banca e assim contribuir com o trabalho;
- O grupo do projeto de extensão Práticas Ambientais Sustentáveis, que forneceram os dados necessários para a análise;
- As empresas Acaman e Fênix Reciclagem, que nos receberam em seus locais de trabalho;
- Meus pais, pelo apoio;
- Meu namorado, Rodrigo, pela ajuda e apoio;
- Amigos, que direta ou indiretamente, me ajudaram a seguir adiante: Bianca, Isadora, Daiane e outros.

“Nenhum vento sopra a favor de quem não sabe para onde ir”.
(Sêneca.)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o ciclo de vida da reciclagem dos eletroeletrônicos coletados no município de Jandaia do Sul, especificamente a fase do transporte da coleta. Um cenário alternativo foi proposto para comparação com o cenário base e avaliação dos potenciais impactos ambientais gerados. A metodologia utilizada foi a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que tem como base as normas ISO 14040 e 14044 e por finalidade mensurar os impactos ambientais gerados a partir do ciclo de vida de um produto ou processo produtivo. Os dados primários de coleta foram obtidos a partir do Projeto de Extensão Práticas Ambientais Sustentáveis (PAS) da UFPR, campus Jandaia do Sul. Foram utilizados três métodos de análise de avaliação de impactos ambientais: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), ReCiPe e a Demanda de Energia Acumulada (CED). Os resultados do estudo demonstraram que no Cenário 1, 3,7 toneladas de eletroeletrônicos emitem 61,1689 kg CO₂ eq, enquanto no cenário 2, 4,4 toneladas emitem 72,38536 kg CO₂ eq. O Cenário 1 também tem grandes impactos na escassez de recursos fósseis, escassez de recurso mineral e formação de material particulado fino, além de ter a energia fóssil não renovável como principal fonte de energia, com 862,8368 MJ. E o Cenário 2 mantém as mesmas características, mas ainda mais acentuadas, com 1020,5 MJ.

Palavras-Chave: Análise de Ciclo de Vida. Gestão ambiental. Eletroeletrônicos. Reciclagem. Transporte.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the life cycle of recycling of electronics collected in the city of Jandaia do Sul, specifically the phase of the transportation of the collection. An alternative scenario was proposed for comparison with the base scenario and evaluation of the potential environmental impacts generated. The methodology used was the Life Cycle Assessment (LCA), which is based on the ISO 14040 and 14044 standards and aims to measure the environmental impacts generated from the life cycle of a product or production process. The primary data of the collection were obtained from the Extension Project Sustainable Environmental Practices (PAS), from UFPR, Jandaia do Sul campus. Three methods of analysis of environmental impact assessment were used: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ReCiPe and the Cumulated Energy Demand (CED). The results of the study showed in Scenario 1, 3.7 tons of electronics emit 61.1689 kg CO₂ eq, while in Scenario 2, 4.4 tons emit 72.38536 kg CO₂ eq. Scenario 1 also has major impacts on the fossil resource scarcity, mineral resource scarcity and fine particulate matter formation, in addition to have non-renewable fossil energy as the main source of energy, with 862.8368 MJ. And Scenario 2 maintains the same characteristics, but even more accentuated, with 1020.5 MJ.

Keywords: Life Cycle Analysis. Environmental management. Eletronics. Recycling. Transport.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CICLO DE VIDA DOS ELETROELETRÔNICOS	32
FIGURA 2 - HIERARQUIA DE RESÍDUOS SEGUNDO PNRS (2010)	36
FIGURA 3 - FORÇAMENTO RADIOATIVO GLOBAL MÉDIO EM 2005	39
FIGURA 4 - EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM 2005	41
FIGURA 5 – PROJEÇÕES DE EMISSÕES	42
FIGURA 6 - IMPACTOS GERADOS PELO AUMENTO DA TEMPERATURA.....	43
FIGURA 7 – MÉTODO DE AVALIAÇÃO ReCiPe.....	44
FIGURA 8 - ETAPAS DE ELABORAÇÃO DA ACV	47
FIGURA 9 - PROCEDIMENTOS SIMPLIFICADOS PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO	49
FIGURA 10 - ESCOPO	55
FIGURA 11 - MODELAGEM DO SISTEMA	56
FIGURA 12 – MODELAGEM EM REDE DO TRANSPORTE DOS REE EM JANDAIA DO SUL – 2019.....	59
FIGURA 13 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE JANDAIA DO SUL À SARANDI, MÉTODO IPCC.....	60
FIGURA 14 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE DE MANDAGUARI À SARANDI, MÉTODO IPCC.....	61
FIGURA 15 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE SARANDI À CURITIBA, MÉTODO IPCC	62
FIGURA 16 – EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE, MÉTODO IPCC	62
FIGURA 17 – GRÁFICO DE CARACTERIZAÇÃO DA AICV DO TRANSPORTE DOS REE DE JANDAIA DO SUL À MANDAGUARI, MÉTODO RECIPE...65	
FIGURA 18 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DOS REE EM JANDAIA DO SUL - 2019, MÉTODO RECIPE	68
FIGURA 19 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE ELETROELETRÔNICOS DE JANDAIA DO SUL – 2019, CENÁRIO 1, MÉTODO DEA.....	70

FIGURA 20 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE ELETRÔNICOS DE JANDAIA DO SUL – 2019, CENÁRIO 2, MÉTODO IPCC.....	71
FIGURA 21 - AICV DO CENÁRIO 2, MÉTODO RECIPE.....	73
FIGURA 22 - AICV DO CENÁRIO 2 GRÁFICO, MÉTODO DEA	75
FIGURA 23 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO IPCC.....	77
FIGURA 24 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO RECIPE	79
FIGURA 25 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO CED.....	81

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - BENEFÍCIOS DA GESTÃO AMBIENTAL.....	24
QUADRO 2 - <i>SOFTWARES</i> DE APOIO À ACV	29
QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS.....	30
QUADRO 4 - VIDA ÚTIL E PRINCIPAIS COMPONENTES.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CICLO DE VIDA DE <i>SMARTPHONES</i> (em meses).....	32
TABELA 2 - COMPARAÇÃO DE LIXO ELETRÔNICO DOS PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL E AMÉRICA DO NORTE	33
TABELA 3 - POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL PARA ALGUNS GEE DE ACORDO COM O CO ₂	40
TABELA 4 - LISTAGEM DE ELETRÔNICOS COLETADOS.....	50
TABELA 5 - ALTERAÇÕES FEITAS NO SIMAPRO	53
TABELA 6 - ALTERAÇÕES FEITAS NO SIMAPRO	53
TABELA 7 - DISTÂNCIAS PERCORRIDAS.....	57
TABELA 8 - INVENTÁRIO DE INSUMOS E EMISSÕES DO TRANSPORTE DE ELETROELETRÔNICOS	58
TABELA 9 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE JANDAIA À MANDAGUARI, MÉTODO IPCC.....	60
TABELA 10 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE MANDAGUARI À SARANDI, MÉTODO IPCC	61
TABELA 11 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE O TRANSPORTE DE SARANDI À CURITIBA	61
TABELA 12 – TOTAL DE EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE, MÉTODO IPCC	62
TABELA 13 – CARATERIZAÇÃO DA AICV DO TRANSPORTE DA COLETA DE REE - JANDAIA À MANDAGUARI - 2019, MÉTODO RECIPE	63
TABELA 14 – AICV DO CENÁRIO 1, MÉTODO RECIPE.....	66
TABELA 15 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE REE DE JANDAIA DO SUL - 2019, MÉTODO DEA.....	69
TABELA 16 – AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE ELETRÔNICOS DE JANDAIA DO SUL – 2019, CENÁRIO 2, MÉTODO IPCC	71
TABELA 17 – AICV DO CENÁRIO 2, MÉTODO RECIPE.....	72
TABELA 18 – AICV DO CENÁRIO 2, MÉTODO DEA.....	74
TABELA 19 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO IPCC.....	76

TABELA 20 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO RECIPE	78
TABELA 21 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO DEA	80

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABDI	– Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Abetre	– Associação Brasileira de empresas de tratamento de resíduos
Abinee	– Associação Brasileira de da Indústria Elétrica e Eletrônica
Abradisti	– Associação Brasileira da Distribuição de Tecnologia da Informação
ACV	– Análise de Ciclo de Vida
AICV	– Análise de Inventário de Ciclo de Vida
Assespro	– Federação das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação
ATSDR	– <i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
CETEA	– Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIO-LCA	– <i>Economic Input-Output Life Cycle Assessment</i>
EPA	– <i>Environmental Protection</i>
GANA	– Grupo de Apoio a Normalização Ambiental
GEE	– Gases de efeito estufa
GWP	– <i>Global Warming Potential</i>
ICV	– Inventário de Ciclo de Vida
ISO	– Organização Internacional de Normalização
LCA	– <i>Life Cycle Assessment</i>
MMA	– Ministério do Meio Ambiente
MRI	– <i>Midwest Research Institute</i>
PAS	– Práticas Ambientais Sustentáveis
PNRS	– Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	– Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
RSU	– Resíduos sólidos urbanos
SLR	– Sistema de Logística Reversa
UNU	– <i>United Nations University</i>
USEPA	– <i>United States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.2	OBJETIVO DE PESQUISA	20
1.2.1	Objetivo geral	20
1.2.2	Objetivos específicos.....	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	GESTÃO AMBIENTAL	22
2.2	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....	24
2.2.1	A construção da ACV	26
2.2.2	<i>Softwares</i> de apoio a ACV	27
2.3	OS ELETROELETRÔNICOS	30
2.3.1	ACV de eletroeletrônicos.....	34
2.4	LEGISLAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ELETRÔNICOS.....	35
2.4.1	Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	36
2.5	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	38
2.5.1	Gases de efeito estufa.....	39
2.5.2	Método de avaliação IPCC.....	41
3	MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2	METODOLOGIA.....	47
3.2.1	Escopo e objetivo	48
3.2.2	Inventário.....	49
3.2.3	Coleta de dados	50
3.2.4	Método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV	51
3.2.5	Tratamento e interpretação dos dados.....	52
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	55
4.1	DESCRIÇÃO DO CASO.....	55
4.1.1	Objetivo do ACV	55
4.1.2	Definição do sistema	56
4.2	ANÁLISE DO INVENTÁRIO	57
4.2.1	Transporte de eletroeletrônicos.....	57

4.3	AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA – AICV.....	58
4.3.1	AICV do cenário 1	58
4.3.1.1	AICV método IPCC.....	60
4.3.1.2	AICV método ReCiPe	63
4.3.1.3	AICV método DEA.....	69
4.3.2	AICV do cenário 2	71
4.3.3	Comparação dos cenários.....	76
4.3.4	Interpretação dos resultados	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

O crescente volume de resíduo eletroeletrônico (REE) vem gerando grande receio à população mundial devido ao grande dano causado ao meio ambiente. De acordo com o relatório global *E-Waste Monitor 2017* lançado pela Universidade das Nações Unidas (UNU) e pela Associação de Resíduos Sólidos, em 2016 foram gerados 44,7 milhões de toneladas de resíduo eletrônico, um aumento de 8% em comparação com 2014. A previsão é que ocorra um crescimento de mais 17%, para 52,2 milhões de toneladas até 2021, sendo 1,5 milhão de toneladas apenas no Brasil, segundo Baldé *et al* (2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (Abetre), no ranking de estados que mais produzem lixo eletrônico no Brasil, São Paulo e Rio de Janeiro lideram, com 448 e 165,2 toneladas gerados por ano cada um, seguido por Minas Gerais, que gera 127,4 toneladas anuais. O Paraná aparece em quarto lugar, gerando 86,8 toneladas por ano.

Dentre vários decretos e leis que abrangem a reciclagem e todo o processo envolvido para tal, vale destacar a Política Nacional de Resíduos Sólidos, implementada em agosto de 2010. A lei instituiu que as pessoas ligadas direta ou indiretamente na geração de resíduos sólidos, deveriam dar um destino ambientalmente correto para ele, visando assim diminuir a destinação final incorreta de resíduos.

De acordo com o art. 1º da Res. 1, de 23.1.86 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, impacto ambiental é: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente, afetam-se: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais”.

A reciclagem é uma forma apropriada de o lixo ser reutilizado e não poluir o meio ambiente, no entanto a mesma também gera resíduo. Dito isso, esse processo precisa ser analisado, para que o seu impacto seja quantificado e compreendido, para que surjam possíveis ações mitigadoras.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que avalia os impactos ambientais em todo o ciclo de vida de um produto ou processo produtivo, assim

como analisa os aspectos envolvidos na reciclagem e quantifica os potenciais impactos causados ao ambiente. A ACV explora todas as etapas constituídas para se chegar ao produto final, e é uma importante ferramenta para a área de Sustentabilidade. A ACV tem se mostrado um dos métodos mais promissores para avaliar e classificar os aspectos e impactos ambientais de um produto (BLEGINI *et al.* 2012).

O ciclo de vida de um produto consiste em todos os estágios inerentes à sua existência, com registros que começam com a extração da matéria prima necessária para sua produção e terminam com sua disposição final. A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia de avaliação da carga ambiental de processos, de sistemas e de produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

Nesse sentido, uma das opções de destinação para todo tipo de descarte, seja de eletroeletrônicos ou de lixo comum, é a reciclagem, já que a mesma dá um destino adequado para esses materiais e eles podem ser reutilizados, de forma a minimizar os impactos ambientais que seriam gerados caso eles fossem descartados de forma incorreta. No entanto, a reciclagem também tem seu impacto ambiental, conforme mostrado nesse estudo de caso, principalmente em relação ao transporte, que queima combustíveis fósseis e emite gases de efeito estufa para a atmosfera.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Sabe-se que o descarte incorreto dos resíduos eletroeletrônicos gera impactos no meio ambiente, porém a reciclagem desses eletroeletrônicos também tem o seu impacto gerado a partir do combustível utilizado pelos automóveis que buscam esses eletroeletrônicos por toda a região, bem como pelo descarte de algumas partes que não conseguem ser recicladas, pela energia elétrica gasta para o desmonte de alguns itens e etc. Pensando nisso, surge a pergunta de pesquisa: **quais são os impactos ambientais gerados no transporte da reciclagem dos eletroeletrônicos coletados no município de Jandaia do Sul?**

1.2 OBJETIVO DE PESQUISA

Nessa seção são apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo de caso.

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o ciclo de vida da reciclagem dos eletroeletrônicos no município de Jandaia do Sul, especificamente a fase do transporte da coleta.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral do trabalho, os seguintes objetivos foram realizados:

- Identificar os fluxos de coleta e reciclagem dos resíduos dos eletroeletrônicos;
- Elaborar um Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do cenário de coleta e reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos;
- Avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida gerados no transporte de reciclagem dos produtos eletroeletrônicos em Jandaia do Sul;
- Propor e comparar cenários alternativos de coleta e reciclagem dos eletroeletrônicos em Jandaia do Sul.

1.3 JUSTIFICATIVA

O tema reciclagem vem gerando cada vez mais estudo e ganhando mais relevância, já que a população aumenta exponencialmente, tendo como consequência o aumento do consumo de bens e produtos. Pensando na área de eletroeletrônicos, tal consumo é ainda mais acentuado em virtude do curto tempo de vida desses produtos, além do *status* que certos produtos trazem para seus proprietários, fazendo com que as pessoas comprem incessantemente.

Visando diminuir os danos causados pelo consumo irrefreável, o reprocessamento dos eletrônicos é uma opção viável, mas que também gera resíduo poluente para a atmosfera.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) tem sido utilizada para orientar ações de melhoria de desempenho e inovação em sistemas de produção, visando sua sustentabilidade ambiental. Entretanto, mesmo com a ampla disseminação da ACV no cenário internacional, a ferramenta ainda é pouco difundida e aplicada no Brasil. (COELHO FILHO *et al.*, 2016) Visto isso, a implementação da ferramenta ACV no setor de eletroeletrônicos é um estudo pouco explorado da área.

A Análise de Ciclo de Vida estuda os impactos gerados ao meio ambiente. Desse modo, esse trabalho utilizará a ACV para analisar os dados de uma empresa do segmento de desmonte e reciclagem, para quantificar os seus danos ao ecossistema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GESTÃO AMBIENTAL

De acordo com Kitzmann (2009), citado por Quintana *et al* (2014):

gestão ambiental é uma importante estratégia de transição; não afetará o rumo da sociedade sozinha, apenas pode garantir mais tempo e melhor qualidade de vida para que sejam criadas as condições adequadas. A autora complementa que a implementação da gestão ambiental tem ligação direta com as iniciativas de Educação Ambiental, tanto por entidades privadas como públicas (KITZMANN, 2009 apud QUINTANA *et al*, 2014 p. 9).

A gestão ambiental está composta por um conjunto de atividades administrativas e operacionais que envolvem planejamento, direção, controle, alocação de recursos, entre outras, com o objetivo de alcançar efeitos positivos sobre o meio ambiente, procurando reduzir ou eliminar os danos causados pelas ações humanas. O processo de gestão ambiental é a forma pela qual a organização se mobiliza, interna e externamente, para a conquista da qualidade ambiental desejada (KRAEMER, 2002; BARBIERI, 2007).

Segundo Macedo (1994), citado por Zanatta (2017), a gestão ambiental pode ser dividida em quatro níveis de gestão: de processos, de resultados, de sustentabilidade e de plano ambiental. Tais níveis envolvem a avaliação permanente e sistemática da qualidade ambiental de todas as atividades e máquinas relacionadas a todos os tipos de produção – odor, ruído, efluente líquido, entre outros – até a capacidade de resposta do ambiente a esses efeitos. Percebe-se que gestão ambiental se insere em todas as fases de um empreendimento e, dependendo da fase que estão implantadas, podem atuar como preventivas, corretivas ou de remediação.

A gestão ambiental consiste em um conjunto de medidas e procedimentos definidos e corretamente aplicados que visam reduzir e controlar os impactos introduzidos por determinado empreendimento sobre o meio ambiente. O ciclo de atuação da Gestão Ambiental, para que essa seja eficaz, deve contemplar desde a fase de planejamento para a implantação de um sistema até a eliminação de passivos originados no decorrer do processo (VALLE, 1995).

A relação Homem e meio ambiente pode ser dividida em duas partes, antes e depois das Revoluções Industriais, até o século XVIII ocorreram poucas modificações na relação, o Homem extraía da natureza o essencial para sobreviver e se defender (CERINO, 2020). A partir da Revolução industrial, nos séculos XVIII e XIX, os padrões de produção e consumo basearam-se na exploração dos recursos naturais e do trabalho de forma ilimitada e, além disso, instigou-se o consumismo, o individualismo e a competitividade (PASSOS; DA OLIVEIRA, 2016, p. 4).

Somente a partir da década de 1970 que começa ocorrer uma preocupação relacionada aos impactos ambientais, justamente nesse período que ocorre o primeiro grande debate ambiental, reunindo chefes de Estados de diversos países, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, ou Conferência de Estocolmo (Suécia – 1972) foi um marco na luta pela preservação do meio ambiente (CERINO, 2020).

Segundo Cerino (2020):

o Brasil se posicionou no xadrez ambiental a partir de 1990, por três principais motivos, primeiro pela sua extensão territorial que abrange uma quantidade considerável de biomas com uma grande biodiversidade, segundo pelo vultoso desmatamento e queimadas no território nacional, por fim, em 1992 o Brasil sediou um dos maiores eventos relacionado ao meio ambiente do Século XX, a Rio-92 ou ECO-92, que inseriu definitivamente o Brasil no debate ambiental (CERINO, 2020).

A partir do conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida estabelecido pela PNRS, entende-se que, na logística reversa, cada agente possui responsabilidades específicas. Em linhas gerais, os consumidores são responsáveis por destinar os resíduos de forma adequada, segregando as categorias e dispondo em local adequado ou devolvendo ao comerciante; enquanto comerciantes, distribuidores, indústrias produtoras e importadores (cadeia direta) são responsáveis efetivamente pela implementação dos sistemas de logística reversa (SLR) (XAVIER *et al.*, 2013).

Segundo Baldé *et al* (2017), em setembro de 2015, as Nações Unidas e os estados membros adotaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Essa agenda tinha 17 objetivos de desenvolvimento sustentável, e 169 metas para acabar com a pobreza, proteger o planeta e garantir prosperidade para todos nos próximos anos. O aumento de lixo eletrônico descartado de forma incorreta, seja por

incineração ou em aterros, representam desafios à saúde humana, e ao cumprimento das metas da Agenda 2030.

North apud Cagnin (2000) lista os benefícios da gestão ambiental, listados no QUADRO 1:

QUADRO 1 - BENEFÍCIOS DA GESTÃO AMBIENTAL

Benefícios econômicos
• Redução do consumo de água, energia e outros insumos; • Reciclagem, venda e aproveitamento de resíduos, e diminuição de efluentes; • Redução de multas e penalidades por poluição; • Aumento da contribuição marginal de “produtos verdes”, que podem ser vendidos a preços mais altos; • Aumento da participação no mercado, devido à inovação dos produtos e a menor concorrência; • Linhas de novos produtos para novos mercados; • Aumento da demanda para produtos que contribuam para a diminuição da poluição.
Benefícios estratégicos
• Melhoria da imagem institucional; • Renovação da carteira de produtos; • Aumento da produtividade; • Alto comprometimento do pessoal; • Melhoria nas relações de trabalho; • Melhoria da criatividade para novos desafios; • Melhoria das relações com os órgãos governamentais, comunidade e grupos ambientalistas; • Acesso assegurado ao mercado externo; • Melhor adequação aos padrões ambientais.

FONTE: Adaptado de North, K. *Environmental business management*. Genebra: ILO, 1992. In: Cagnin, 1999.

A ACV não é a única ferramenta de gestão ambiental capaz de avaliar os impactos ambientais gerados a partir de um processo, porém foi a ferramenta escolhida, por ser muito eficaz e avaliar todo o ciclo de vida dos produtos e processos (ARAUJO, 2013).

2.2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A origem da ACV remonta aos estudos do economista Wassily Leontief, através da metodologia de *economic input-output life cycle assessment* (EIO-LCA), lançada na década de 1970 e baseada em seus trabalhos com matrizes insumo-produto de 1930 (CMU, 2015).

Segundo Curran (2006), um dos primeiros estudos que podem ser considerados como uma ACV foi realizado nos Estados Unidos, em 1965, e foi realizado com o intuito de identificar qual embalagem para refrigerantes teria menos emissões atmosféricas, e utilizaria menos recursos no seu processo de fabricação.

A *Midwest Research Institute* (MRI), responsável pelo estudo, aprimorou o modelo ao realizar outro estudo, desta vez para a agência norte americana de proteção ambiental, (*Environmental Protection Agency* – EPA), em 1974. Este modelo se tornou o ponto de partida do que viria a se chamar Avaliação do Ciclo de Vida (CHEHEBE, 1997).

Com o avanço de estudos na área, em 1997, a Organização Internacional para Padronização (ISO) lançou a ISO 14040 Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. A norma sofreu diversas alterações durante os anos decorrentes, até os dias de hoje.

O pensamento de existir uma produção mais limpa e melhor para o ambiente está cada vez mais difundido em todo o mundo. Na França, com a promulgação da lei Grenelle II, tornou-se obrigatória a divulgação de informações sobre o teor de carbono, o consumo de recursos naturais e os impactos ambientais nas embalagens dos produtos (LEGIFRANCE, 2012).

A ACV teve início no Brasil na metade dos anos 1990, mais exatamente em 1994, com a implantação de um subcomitê específico ao tema dentro do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA) (SEO e KULAY, 2006).

Quase ao mesmo tempo do lançamento da primeira norma exclusiva em ACV, em 1998 foi lançada a primeira publicação didática sobre a metodologia, em português. Trata-se do livro *Análise de Ciclo de Vida Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000*, de autoria do professor José Ribamar Brasil Chehebe (CHEHEBE, 1997).

No ano seguinte é produzido o primeiro resultado de pesquisa científica com aplicação da metodologia da ACV. A pesquisa *Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro* foi realizada pelo Centro de Tecnologia de Embalagem do Instituto de Tecnologia de Alimentos (CETEA/ITAL) (GARCIA *et al*, 1999).

A ACV é uma entre várias técnicas de gestão ambiental, e pode não ser a técnica mais adequada para todas as situações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

A ACV pode subsidiar a identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Considerar potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto significa incorporar uma noção de limites em relação à capacidade da natureza, tanto para fornecer recursos quanto para receber rejeitos (MALAGUTI, 2005).

A Análise do Ciclo de Vida de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto ou resíduo (VIGON, 1993, apud RIBEIRO, 2002 a 2011).

De acordo com Durão (2009), a ACV é feita calculando todas as etapas da vida de um produto, desde o „nascimento“ até a „morte“. Em todas as etapas, é analisada a energia gasta, o tipo de emissão atmosférica, entre outros.

Segundo Moura (2000), analisar apenas o processo produtivo não é mais suficiente, é necessário analisar toda a trajetória do produto como um todo, desde a matéria-prima até o descarte final.

O foco da ACV é analisar os impactos ambientais gerados a partir de um produto ou processo, porém os impactos sociais não são analisados. Para isso, existe a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV), mas neste trabalho o intuito é fazer uma ACV considerando só os impactos ambientais. Composto pelas mesmas etapas que uma ACV, já que também se alinha à série de Normas ISO 14040, atenta-se a aspectos relacionados, por exemplo, a direitos humanos, condições de trabalho e herança cultural, dentre grupos como comunidade local, sociedade e consumidores (ACV BRASIL, 2018).

2.2.1 A construção da ACV

As normas ISO têm como principal objetivo estruturar a ACV, assim como garantir que todos os requisitos e princípios sejam seguidos se forma correta. A Análise de Ciclo de Vida contou com uma série de normas, sendo elas:

- ISO 14040 – Princípios gerais (1997);
- ISO 14041 – Definição do objetivo e escopo e ICV (1998);
- ISO 14042 – AICV (2000);
- ISO 14043 – Interpretação (2000);

- ISO 14044 – Requerimentos e diretrizes (2006).

Posteriormente em 2009 foi atualizada e unificada em duas normas:

- ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura e;
- ISO 14044 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações.

De acordo com a norma ISO 14044, um estudo de ACV é composto por quatro fases:

1. Definição de objetivo e escopo;
2. Análise de inventário;
3. Avaliação de impactos e
4. Interpretação.

O escopo da ACV varia de estudo para estudo, assim como a profundidade, dependendo do objetivo em particular.

A Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é a fase em que a coleta de dados de entrada/saída ocorre. Essa etapa é essencial para atingir os objetivos do estudo.

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) tem como objetivo prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV, para melhor compreensão do seu significado ambiental.

A parte final é a de interpretação, onde os resultados são discutidos e recomendações são feitas.

2.2.2 Softwares de apoio a ACV

Na fase de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), é necessário coletar e analisar dados através de cálculos como balanço de massa e energia. Existem diversos softwares que são facilitadores e podem ser utilizados para analisar os dados de uma ACV.

USEPA (2014) cita algumas características de cada um dos *softwares* de apoio à ACV:

- BEES 3.0 (*Building for Environmental and Economic Sustainability*): desenvolvido pelo “*National Institute for Standards and Technology (NIST) Building and Fire Research Laboratory*”. Muito utilizado no setor de

construção civil para avaliar o desempenho econômico e ambiental proporcionando na tomada de decisões de construtores e fabricantes de produtos;

- ECO-it 1.3: desenvolvido por *Pré Consultants*. Possui informações ambientais para plásticos, metais, papel e vidro e dados de suas produções como atividades de transporte, energia e tratamento de resíduos;
- GaBi 4 *Software System and Database*: Desenvolvido por *PE Europe GmbH e IKP University of Stuttgart*. Utilizado para aspectos ambientais, sociais, econômicos, processos e tecnologias relacionados ao ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço. Possui um banco de dados de abrangência mundial, e suporta o manuseamento de grande quantidade de dados. Realiza a modelagem do ciclo de vida e cálculos como de balanço de massa e energia;
- GREET Model: desenvolvido pelo *The U.S Department of Energy's Office of Transportation Technologies fuel-cycle model called GREET (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation)*. Avalia diferentes combinações de motores e combustíveis;
- IDEMAT 2005: elaborado pela *Delft University of Technology*. Utilizado para a seleção de materiais no processo de design, contém um banco de dados com informações técnicas sobre materiais, processos e componentes, que permite a comparação de informações;
- KCL-ECO 4.0: desenvolvido pelo KCL. Utilizado para aplicar a ACV em estudos que possuem muitos fluxos de processos incluindo recursos gráficos, procedimentos de alocação e avaliação de impacto (caracterização, normalização e ponderação);
- LCAPIX: desenvolvido por *KM limited*. É um *software* que combina a ACV e atividade baseada no custo permitindo, desta forma, que empresas consigam garantir a conformidade ambiental e a rentabilidade sustentada;
- REGIS: Elaborado por Sinum. Utilizado na melhoria do desempenho ambiental das empresas de acordo com a ISO14031 - Gestão ambiental - Avaliação de desempenho ambiental – Diretrizes;

- *SimaPro 7*: desenvolvido por *Pré Consultants*. Possui vários métodos de avaliação de impacto (CML 1992, Eco-indicator 99, EPS2000, entre outros) e banco de dados (BUWAL 250, ecoivent, IVAM LCA Data, entre outros) que podem ser editados e ampliados sem limitação. É possível comparar e analisar produtos com ciclos de vida complexos como é o caso de produtos que possuem diferentes componentes em sua composição como, por exemplo, o ciclo de vida de equipamentos elétricos e eletrônicos. Desde o momento em que foi introduzido, em 1990, o *SimaPro* é o mais utilizado para a análise ambiental dos produtos visando na tomada de decisão conforme o desenvolvimento de produtos e política dos mesmos
- *SPOLD Data Exchange Software*: elaborado pela *The Society for Promotion of Life Cycle Assessment*. Utilizado para criar, editar, importar e exportar dados no formato SPOLD'99;
- *Umberto*: foi desenvolvido pelo *Institute for Environmental Informatics* de Hamburg. Utilizado para visualizar fluxogramas de materiais e energia de tal forma que possibilite otimizar processos produtivos, reduzindo recursos de materiais e energia.

Conforme Curran (2006), e USEPA (2014), o QUADRO 2 apresenta os *softwares* de apoio à ACV e seus países de origem:

QUADRO 2 - SOFTWARES DE APOIO À ACV

Nome	País de origem
BEES 3.0	Estados Unidos
ECO-it 1.3	Holanda
GaBi	Alemanha
REET 1.7	Estados Unidos
IDEMAT 2005	Holanda
KCL-ECO 4.0	Finlândia
LCAPIX	Estados Unidos
Regis	Suiça
<i>SimaPro 7</i>	Holanda
SPOLD Data Exchange Software	Dinamarca
Umberto	Alemanha

FONTE: Curran (2006) e USEPA (2014).

Oliveira, Castro e Safar (2007) desenvolveram um artigo sobre os *softwares* Gabi 4, *SimaPro 7* e Umberto. Segundo os autores, o *SimaPro* é o programa que apresenta as informações de maneira mais clara, fácil e organizada. Em relação ao

banco de dados, O *SimaPro* também se destaca, por possuir uma maior quantidade de banco de dados inclusos na licença, além de terem bancos de dados mais conhecidos e utilizados pelo mercado. Eles finalizam concluindo que os *softwares* são de extrema importância para a ACV, não indicando o melhor, mas aquele que mais se adequa as necessidades do estudo.

Nos trabalhos encontrados na literatura, verificou-se a dificuldade de se encontrar usuários que dominem essas ferramentas computacionais devido à sua complexidade. Além disso, foi verificada a grande importância na qualidade dos dados a serem coletados e a cautela ao elaborar conclusões, podendo afetar significativamente os resultados do estudo (CAMPOLINA, *et al.*, 2015).

2.3 OS ELETROELETRÔNICOS

O setor eletroeletrônico engloba uma vasta gama de produtos e componentes no mercado brasileiro e mundial. Para uma melhor ideia desta dimensão, esses produtos, que têm seu funcionamento dependente do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos, são divididos em quatro categorias, segundo a Associação Brasileira de Equipamentos Eletrônicos (ABINEE).

QUADRO 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Linha branca	Linha marrom	Linha azul	Linha verde
● Refrigeradores; ● Fogões; ● Lavadoras de roupas; ● Condicionador de ar.	● Televisor de tubo, LCD/plasma; ● Monitores; ● DVD/VHS; ● Produtos de áudio; ● Câmeras e filmadoras.	● Batedeiras; ● Liquidificador; ● Forno elétrico; ● Furadeiras.	● Desktops; ● Notebooks; ● Impressoras; ● Celulares; ● Monitores.

FONTE: ABDI (2013)

Cada classificação tem um tempo de vida útil como mostrado no QUADRO

4:

QUADRO 4 - VIDA ÚTIL E PRINCIPAIS COMPONENTES

Linhas	Vida útil	Porte	Principais componentes
Verde	2-5 anos	0.09-30 kg	Plásticos e metais
Marrom	5-13 anos	1-35 kg	Plásticos e vidros
Branca	10-15 anos	30-70 kg	Metais
Azul	10-12 anos	0.50-5 kg	Plásticos

FONTE: ABDI (2013)

Enquanto estão inteiros, os equipamentos eletrônicos não oferecem riscos à saúde. Mas, quando quebrados e expostos ao tempo, segundo a Agência norte-americana para o Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR) (SAAP, 2013), podem liberar substâncias tóxicas e poluentes, como chumbo (que pode causar danos ao sistema nervoso), arsênico (em níveis elevados, pode matar), berílio (danos ao pulmão e potencialmente cancerígeno) e mercúrio (prejudicial a rins, ao cérebro e aos fetos),

De acordo com Xavier *et al* (2020):

A gestão dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) representa um desafio aos gestores e tomadores de decisão. Isso se deve ao fato de serem resíduos que podem ser caracterizados como perigosos, em decorrência de sua composição com substâncias prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Por outro lado, tais resíduos contêm elementos com alto valor de mercado e difícil prospecção, como o ouro, prata, platina, entre outros, o que justifica, dessa forma, uma gestão especial dos REEE por meio de práticas estratégicas de destinação ambientalmente adequada com a recuperação de valor através da mineração urbana (XAVIER et al., 2020 p. 6).

Diante disso, a reciclagem se torna uma opção inevitável para o bem estar do ecossistema.

Reciclar é a alternativa mais viável hoje para o *e-lixo*. A reciclagem consiste em separar os materiais que compõem um objeto e prepará-los para serem usados novamente como matéria prima dentro do processo industrial. Nem sempre a reciclagem se destina à reinserção dentro do mesmo ciclo produtivo: um computador reciclado pode gerar materiais que vão ser utilizados em outras indústrias. E o material que não dá para ser aproveitado é mandado para locais que se desfazem do equipamento que não pode ser utilizado, sem que cause danos ao meio ambiente, evitando problemas futuros como câncer e outras doenças (FERREIRA, SILVA E GANDINO, 2010 p. 106)

A FIGURA 1 mostra o ciclo de vida dos eletroeletrônicos:

FIGURA 1 - CICLO DE VIDA DOS ELETROELETRÔNICOS



FONTE: *Green Eletron* (2019)

O uso interminável e cada vez maior dos recursos naturais para atender a demanda de eletrônicos vem causando sérios danos ao meio ambiente, já que vida útil de eletroeletrônicos segue encurtando cada vez mais.

Aliado a isso está o fato de que o tratamento e a destinação final dos resíduos produzidos estão pautados, na maioria das vezes, em soluções imediatistas, como o simples descarte, muitas vezes em lixões, que acentuam a deterioração ambiental, além de envolver aspectos sociais, de saúde pública, estéticos, econômicos e administrativos (SIQUEIRA E MARQUES, 2012).

Como as tecnologias mudam rapidamente, muitos usuários mudam de dispositivo, como o telefone celular, regularmente e frequentemente, antes de realmente quebrar (BALDÉ, C.P. *et al*, 2017).

Ciclo de vida de *smartphones* por país, em meses, de 2013 a 2015:

TABELA 1 - CICLO DE VIDA DE *SMARTPHONES* (em meses)

	EUA	China	Alemanha	França	Grã Bretanha	Itália	Espanha
2015	21,6	19,5	18,8	21,6	23,5	17,7	20,0
2014	20,9	21,8	18,2	19,4	22,0	18,7	18,2
2013	20,5	18,6	17,1	18,0	20,0	18,6	16,6

FONTE: *Kantar World Panel* (2016)

Vários países em desenvolvimento enfrentam enormes desafios na gestão de resíduos eletrônicos, que são gerados internamente ou importados ilegalmente como produtos usados (NNOROM E OSIBANJO, 2008). Em muitos países em desenvolvimento, particularmente países de baixa e média renda, uma proporção significativa de componentes do lixo eletrônico é descartada em aterros sanitários não higiênicos – não controlados. (IKHLAYEL, 2017).

De acordo com a ONU, o Brasil queima cerca de US\$ 2,2 bi de eletroeletrônicos por ano, o que gera um grande impacto ambiental.

Em um estudo realizado em 2019, foi realizado um compilamento de informações, onde é possível visualizar uma comparação de alguns países da América do Sul e da América do Norte, como mostrado na TABELA 2:

TABELA 2 - COMPARAÇÃO DE LIXO ELETRÔNICO DOS PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL E AMÉRICA DO NORTE

Indicadores	Argentina	Brasil	Uruguai	México	Canadá	Estados Unidos
População (milhão em 2019)	44,9	210,2	3,5	126,6	37,8	329,0
PIB (bilhões U\$ em 2019)	449,66	1.839,76	56,05	1.258,29	1.736,43	21.374,42
PIB per capita (U\$ em 2019)	10.006,15	8.717,19	16.190,13	9.863,07	46.194,73	65.118,36
Área (milhões de km ²)	2,780	8,516	0,176	1,973	9,985	9,834
Geração de lixo eletrônico per capita (kg/habitante em 2019)	10,3	10,2	10,5	9,7	20,2	21,0
Total de lixo eletrônico gerado (kt* em 2019)	465	2.143	37	1.220	757	6.918
Lixo eletrônico documentado para ser coletado e reciclado (kt)	11 (2013)	0,14 (2012)	NA	36 (2014)	101 (2016)	1,020 (2017)

FONTE: Adaptado de Bandini (2009) apud Araujo *et al.* (2012), Forti *et al.* (2020), STeP *Initiative* (2019), *Trading Economics* (2019), World Bank (2019a,b).

* kt: Quilo toneladas

Observando a tabela, é possível perceber que o Brasil gera uma grande quantidade de lixo eletrônico, e recicla pouco em comparação aos países citados na TABELA 2.

2.3.1 ACV de eletroeletrônicos

Andersen (2014) desenvolveu uma ACV de células solares fotovoltaicas; baseia-se em um novo processo de corrosão para células solares, já que o antigo processo de corrosão química úmida tem grandes impactos ambientais, como alto consumo de água e emissão de gases de efeito estufa.

O foco do trabalho era a alta quantidade de água gasta para a produção das células solares, já que para produzir 1,4 GW para as células, eram gastos 15000 litros de água extremamente pura. O objetivo era comparar o impacto dos dois processos.

O estudo mostra que o novo processo fornece reduções de impacto em todas as categorias de impacto. O novo processo tem potencial de redução de 24% e 44% de toxicidade humana, toxicidade de água doce, toxicidade de água salgada e toxicidade do solo. A redução de água gasta é em torno de 86%, em comparação com o processo de corrosão química úmida.

Alcaraz *et al* (2017) desenvolveu um estudo de ACV para analisar o ciclo de vida de *tablets*. Segundo os autores, na produção desse produto, os itens que mais geram gases de efeito estufa são os *displays* e os circuitos integrados, e que a indústria deveria se preocupar em coletar dados sobre esses circuitos, que são grandes geradores de gases. Nesse artigo, os autores aplicam a metodologia de subespecificação estruturada e triagem probabilística, para uma avaliação completa do ciclo de vida do produto.

Wang *et al* (2018), analisou os impactos ambientais gerados a partir da produção de baterias de chumbo-ácido (LAB), bateria de lítio-manganês (LMB) e bateria de fosfato de ferro-lítio (LIPB). Os resultados atingidos foram que a produção das LAB são as que causam maior impacto ambiental, a do LIPB a que causam menor impacto e a LMB tem médio impacto. O processo que mais causa impacto ambiental na produção de LAB é a fabricação das placas, e suas principais substâncias são chumbo e estanho refinado. Na fabricação de LMB e LIPB, os processos que mais causam impactos é a fabricação da placa catódica, o processo de montagem e a fabricação da placa negativa. Segundo os autores, otimizar as matérias-primas, como chumbo refinado, estanho, óxido de lítio-manganês, fosfato de ferro-lítio e concha de alumínio na fabricação tem um efeito óbvio na redução de impacto ambiental.

2.4 LEGISLAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ELETRÔNICOS

No dia 2 de agosto de 2010, a lei nº 12.305 foi criada, chamada de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que instituiu que as pessoas físicas ou jurídicas, responsáveis direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos, deveriam gerenciar esses resíduos de forma ambientalmente correta. A nova lei visava a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A PNRS contempla várias tipologias diferentes de resíduos (PNRS, 2019).

Conforme o art. 30 da lei nº 12.305 (2010):

é instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A PNRS alterou a lei nº 9.606/98 que não abrangia a parte de geração de resíduos. Incluso na nova lei, existe o Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, onde a logística reversa é determinada, sendo esta um instrumento para aplicação da responsabilidade compartilhado pelo ciclo de vida dos produtos.

Apesar de a PNRS ter sido criada em 2010, o segmento de eletroeletrônicos não tinha seu espaço. Em razão disso, em outubro de 2019, um acordo foi assinado entre o Ministério do Meio Ambiente e entidades representativas do setor de eletrônicos como ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, ABRADISTI - Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação, ASSESPRO NACIONAL - Federação das Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação e *Green Eletron* - Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional, sendo que este acordo selava a obrigatoriedade da logística reversa para produtos eletrônicos e participação de todas as pessoas envolvidas com o produto, desde a fabricação até os comerciantes (MMA, 2019).

Além disso, 100% dos produtos coletados deverão ser enviados para a destinação final ambientalmente adequada, preferencialmente a reciclagem, reinserindo assim os materiais na cadeia produtiva, reduzindo as pressões

por novas matérias-primas e os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado. São previstas também ações de comunicação e campanhas de conscientização da população quanto ao descarte adequado (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

A falta de conscientização da população está diretamente ligada com o aumento do descarte inadequado de resíduos sólidos, já que a mesma não sabe a dimensão que isso pode tomar em reação a saúde pública e do planeta. Um obstáculo para mensurar a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) é que constantemente, eles são queimados a céu aberto ou jogados à beira de rios e córregos; o que além de dificultar a mensuração, causa sérios impactos ambientais (MMA, 2019).

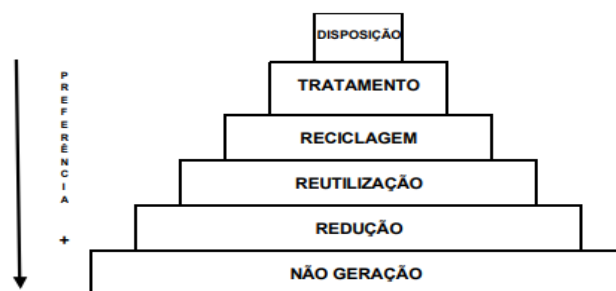
2.4.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Entre os principais objetivos da PNRS, destacam-se, segundo Araújo (2013):

- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final adequada dos rejeitos;
- Estímulos à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços (racionalização de recursos na produção);
- Aumento da reciclagem;
- Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- Inclusão social, geração de emprego e renda para catadores;
- Disposição final adequada dos rejeitos;
- Aquisições e contratações governamentais, reciclados e recicláveis, e bens, serviços e obras com padrões ambientalmente sustentáveis.

Como mostrado na FIGURA 2, em forma de pirâmide:

FIGURA 2 - HIERARQUIA DE RESÍDUOS SEGUNDO PNRS (2010)



FONTE: PNRS (2010)

Com o intuito de existirem leis cada vez mais completas, em fevereiro de 2020, o decreto nº 10.240 foi criado, sendo um complemento do decreto nº 9.177 de 2017, e implementou a logística reversa para eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. O novo decreto é composto por duas fases, sendo a primeira necessária para a adesão de fabricantes e comerciantes, a criação de um grupo de acompanhamento, sendo encerrada em dezembro de 2020. A segunda fase teve início em janeiro de 2021, e é constituída pela implementação de postos de coleta, divulgação da implantação da logística reversa, entre outros.

Logística reversa está associada à reutilização de produtos e materiais, englobando todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usadas a fim de assegurar uma recuperação sustentável (LEITE, 2009).

A literatura revisada mostra que o conceito de LR ganhou força a partir da década de 1980, mas apenas a partir dos anos 1990 passou a ser discutida com mais intensidade, quando passou a ser implementado. Entretanto, apenas em 1995 surgem os primeiros trabalhos que focavam a relação entre LR e questões socioambientais (RUBIO; CHAMORRO; MIRANDA, 2008).

A logística reversa hoje funciona no processo de reciclagem, uma vez que esses materiais retornam a diferentes centros produtivos em forma de matéria-prima. Não voltam para a indústria de uma forma direta, passando por cooperativas de reciclagem e atravessadores. A logística reversa é utilizada em prol da empresa, transformando materiais, que seriam inutilizados, em matéria-prima, reduzindo assim, os custos para a empresa (COELHO, 2011).

Os eletrônicos de uso doméstico devem obedecer às seguintes etapas, de acordo com o decreto:

I - Descarte, pelos consumidores, dos produtos eletroeletrônicos em pontos de recebimento;

II - Recebimento e armazenamento temporário dos produtos eletroeletrônicos descartados em pontos de recebimento ou em pontos de consolidação, conforme o caso;

III - Transporte dos produtos eletroeletrônicos descartados dos pontos de recebimento até os pontos de consolidação, se necessário; e

IV - Destinação final ambientalmente adequada.

O programa Lixão Zero, inserido no âmbito da Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana, representa um passo para tirar do papel a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), teve início em 2019, com o objetivo de eliminar os lixões no Brasil, de modo a proteger a população e o solo.

De acordo com o Governo do Brasil (2021), em 2020 houve redução de 17% da quantidade de lixões em relação a 2019, passando de 3.257 a 2.707, segundo dados levantados pela Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos e Afluentes, a Abetre.

2.5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

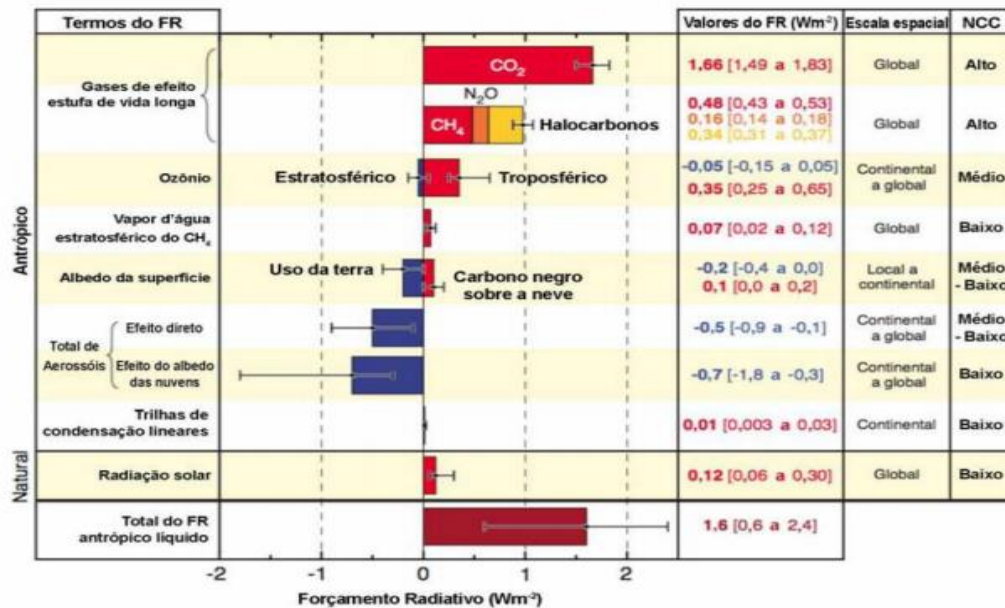
De acordo com a UNFCCC mudança climática é aquela “mudança no clima que é atribuída direta ou indiretamente às atividades humanas que alteram a composição da atmosfera global e que se some àquela provocada pela variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis” (UNITED NATIONS, 1992).

Existem diversos fatores que alteram o equilíbrio do sistema climático, e os principais fatores são apresentados na FIGURA 3.

A comparação entre esses fatores é feita através do forçamento radiativo (FR). O FR mede quanto o balanço de irradiação da Terra – balanço entre a radiação solar que está entrando e a radiação infravermelha que está saindo da atmosfera terrestre – está sendo retirado de seu estado normal devido aos causadores da mudança climática antrópica (IPCC, 2007). O FR representa um desvio com base na situação do ano de 1750, que corresponde a um período com pouco impacto humano no clima.

Na Figura 3, é possível visualizar a média global do FR de 2005 em comparação com o ano de 1750 para dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e outros componentes, e também o nível científico (baixo, médio, alto).

FIGURA 3 - FORÇAMENTO RADIOATIVO GLOBAL MÉDIO EM 2005



FONTE: Adaptado de IPCC (2007)

Quando o FR possui um sinal positivo indica um aquecimento da superfície terrestre e um sinal negativo, um resfriamento. Ainda, pode-se observar que os GEE, mais especificamente o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, emitidos pelas atividades humanas são os mais bem entendidos e os que possuem o maior forçamento radiativo sendo, portanto, os que mais contribuem para o aquecimento do sistema climático desde o período anterior à Revolução Industrial (MIRANDA, 2012).

2.5.1 Gases de efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre pela concentração de gases na atmosfera, os quais formam uma camada que permite a passagem dos raios solares. Sem ele, o planeta seria um lugar muito frio.

De toda a radiação proveniente do Sol, cerca de 50% é absorvida pela superfície terrestre, 30% é refletido para o espaço pelas nuvens, neve, areia e outros corpos refletivos e 20% é absorvido por gases e gotículas de água presentes na atmosfera. Entretanto, nem toda radiação refletida pela superfície e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Parte dessa radiação, situada na região do infravermelho – energia em forma de calor –, é reabsorvida por moléculas presentes

na atmosfera e reemitida em todas as direções provocando um aquecimento adicional da Terra (MIRANDA, 2012).

A atmosfera terrestre tem em sua composição nitrogênio gasoso (N_2), oxigênio diatômico (O_2) e gás argônio (Ar), mas eles não são capazes de absorver a radiação infravermelha. Outros componentes da atmosfera, em menor concentração, como o CO_2 e o vapor d'água, absorvem essa radiação e promovem o aquecimento da atmosfera sendo chamados de gases de efeito estufa. As atividades humanas têm emitido para a atmosfera outros GEE, além dos já existentes (BAIRD, 2002). Os principais gases relacionados ao efeito estufa antrópico são (UNITED NATIONS, 1998):

- Dióxido de carbono (CO_2);
- Metano (CH_4);
- Óxido nitroso (N_2O);
- Hidrofluorcarbonos (HFC_s);
- Perfluorcarbonos (PFC_s);
- Hexafluoreto de enxofre (SF_6).

Na TABELA 3 são apresentados alguns GWPs para alguns gases para os horizontes de tempo de 20, 100 e 500 anos, assim como o tempo de permanência dos gases na atmosfera e seus FR.

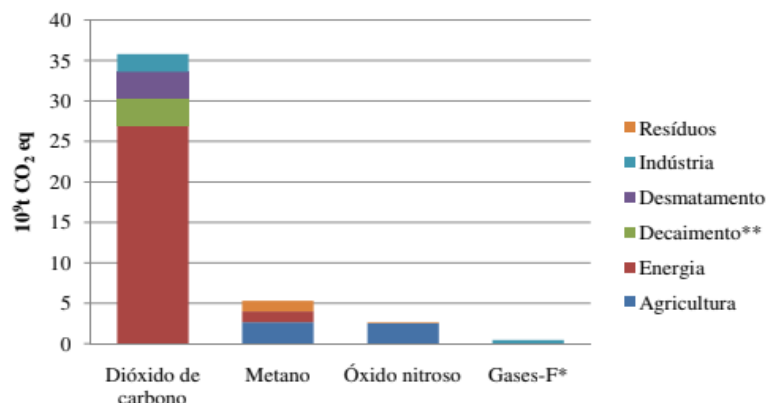
TABELA 3 - POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL PARA ALGUNS GEE DE ACORDO COM O CO_2

Gás	Fórmula química	Forçamento radiativo (W/M^2)	Tempo de vida (anos)	GWP Horizonte de tempo		
				20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de carbono	CO_2	1,66	*	1	1	1
Metano	CH_4	0,48	12	72	25	7,6
Óxido nitroso	N_2O	0,16	114	289	298	153
HFC-23	CHF_3	0,0033	270	12.000	14.800	12.200
Tetrafluorometano	CF_4	0,0034	50.000	5.210	7.390	11.200
Hexafluoreto de enxofre	SF_6	0,0029	3.200	16.300	22.800	32.600

* O CO_2 não possui um único tempo de vida definido, pois é removido da atmosfera por diversos processos que operam em diferentes escalas de tempo. FONTE: IPCC (2007)

São diversas atividades que contribuem para a emissão de gases para a atmosfera, como mostrado na FIGURA 4:

FIGURA 4 - EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM 2005



**Incluem HFCs (hidrofluorcarbonetos), PFCs (perfluorcarbono) e SF₆ (hexafluoreto de enxofre).

**Decaimento refere-se à decomposição da matéria orgânica.

FONTE: IEA (2008)

Em 2005, a emissão total de GEE foi de 44,2·109 tCO₂eq (IEA, 2008), sendo que a energia foi a atividade que mais contribuiu para a emissão desses gases.

2.5.2 Método de avaliação IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para avaliar toda e qualquer informação científica sobre as alterações climáticas, e apontar suas causas, efeitos e riscos para a humanidade e o meio ambiente. O painel destaca quais os principais impactos ambientais, e como atenuar as consequências dos mesmos.

O IPCC conta com mais de 2500 cientistas de mais de 130 países, e desde a sua criação desenvolveu quatro relatórios técnicos, chamados *Assessment Report*, um deles ganhador do Prêmio Nobel da Paz de 2007. O primeiro relatório foi público em 1990, e defendia que as atividades humanas estavam acelerando o efeito estufa, segundo o IPCC.

De acordo com o IPCC, as concentrações de GEE têm aumentado desde 1750 devido ao aumento das atividades humanas. Na época pré-industrial as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O eram de 280ppm (parte por milhão), 715ppb (parte por bilhão) e 270ppb e em 2005 aumentaram para 379ppm, 1774ppb e 319ppb.

A unidade em que os GEE são contabilizados é tCO₂eq (toneladas de dióxido de carbono equivalente). O CO₂ foi escolhido como o gás de referência, por ser o mais emitido, e substância cuja emissão é afetada pelas emissões antrópicas que mais contribui para o aquecimento global (IPCC, 2007).

Para que as emissões de cada GEE sejam transformadas em emissão de CO₂eq utiliza-se o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential*, GWP). O GWP é um indicador da capacidade de um gás contribuir para o aquecimento global e compara o FR de uma tonelada de um GEE para um determinado intervalo de tempo com uma tonelada de CO₂, ou seja, mostra a contribuição relativa da emissão na atmosfera de 1t de um determinado GEE comparada com a emissão de 1t de CO₂ (IPCC, 2007; GOLDEMBERG, 2003). A esse intervalo de tempo dá-se o nome de horizonte de tempo, que representa o período de análise contado a partir da emissão instantânea do GEE (IPCC, 2007).

As altas quantidades de emissões de gases de efeito estufa têm feito com que a temperatura do planeta subisse cada vez mais. Segundo o IPCC, em 2016, as emissões globais de gases de efeito estufa estavam em cerca de 52 GtCO₂e (gigatoneladas de CO₂ equivalente), sendo que essa projeção precisava cair pela metade para delimitar o aquecimento a 1,5°C. A previsão até 2030 é de que essas emissões cheguem a 58 GtCO₂e, como mostrado na FIGURA 5.

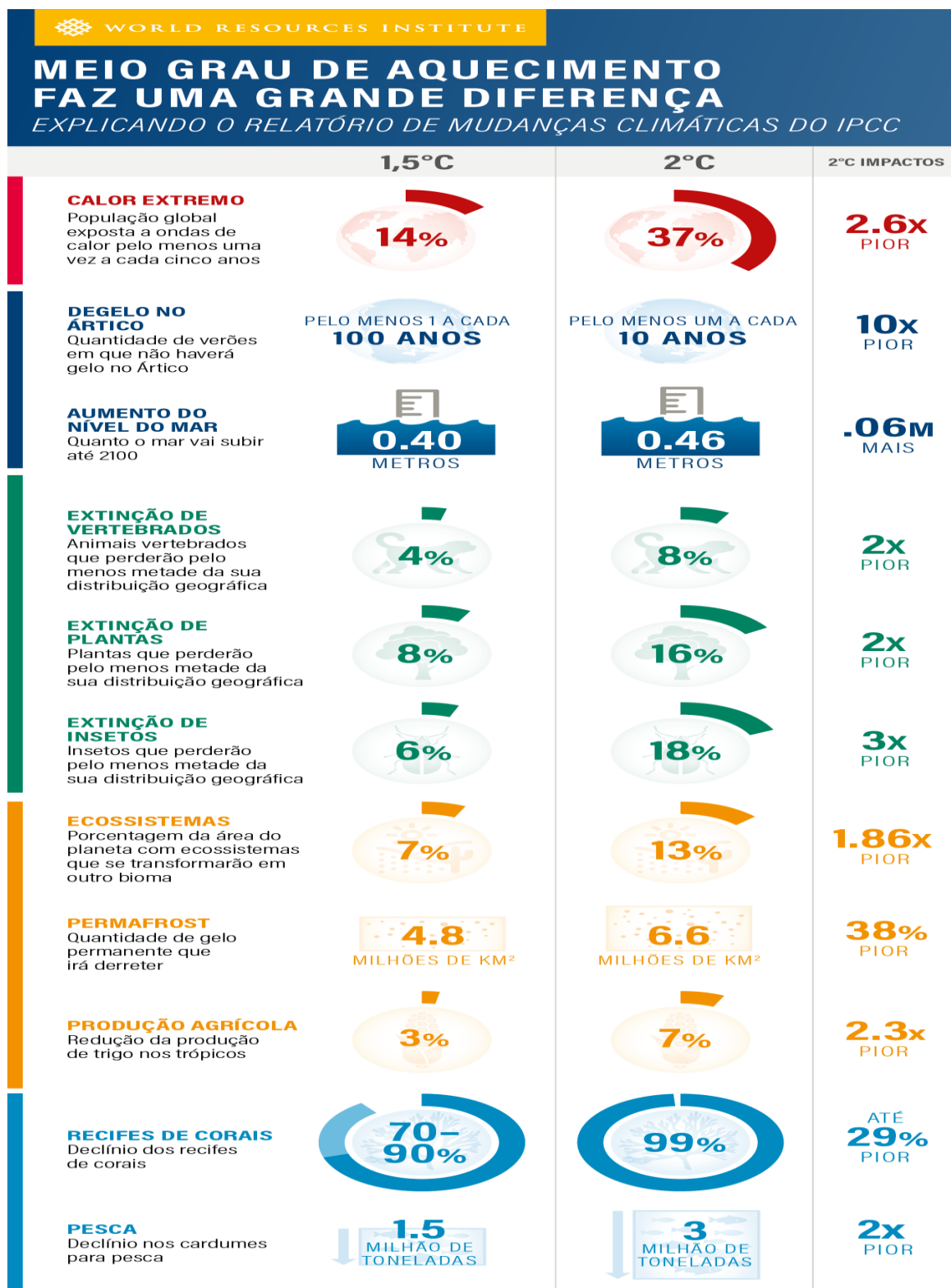
FIGURA 5 – PROJEÇÕES DE EMISSÕES



FONTE: World Resources Institute (2007)

Os impactos causados se a temperatura subir mais de 1,5°C são substanciais e extremamente relevantes para a humanidade, como mostrado na FIGURA 6.

FIGURA 6 - IMPACTOS GERADOS PELO AUMENTO DA TEMPERATURA



FONTE: World Resources Institute (2007)

2.5.3 Método de avaliação ReCiPe

Esse método procura harmonizar, nos modelos ambientais, os impactos orientados aos problemas (*mid point*) e às categorias de danos (*end point*). (GOEDKOOPE et al., 2009).

Na metodologia ReCiPe são utilizados as seguintes categorias de impactos ambientais associadas às três categorias de danos:

- Categoria de danos à saúde humana (em DALY - *disability-adjusted life year* - anos de vida perdidos ajustados por incapacidade, mede-se simultaneamente o efeito da mortalidade e dos problemas de saúde que afetam a qualidade de vida dos indivíduos): mudanças climáticas; depleção de ozônio; toxicidade humana; formação fotoquímica; material particulado; radiação ionizante;
- Categoria de danos aos ecossistemas (em espécies/ano): mudanças climáticas ecossistemas; acidificação terrestre; eutrofização água; ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade água e ecotoxicidade marinha; transformação da terra natural; ocupação da terra agrícola e urbana;
- Categoria de danos de consumo de recursos (em unidade monetária \$): depleção de recursos minerais; depleção de combustíveis fósseis.

FIGURA 7 – MÉTODO DE AVALIAÇÃO ReCiPe



FONTE: Adaptado de LOVÓN-CANCHUMANI et al. (2015)

2.5.4 Método de avaliação Demanda de Energia Acumulada

O método demanda de energia acumulada (*Cumulative Energy Demand*) é um indicador amplamente utilizado como parâmetro de eficiência energética e triagem para os impactos ambientais de processos. O DEA é utilizado para comparar a demanda de energia primária em estudos de ACV. Deve-se calcular toda a energia utilizada como energia primária, entendida como a forma de energia encontrada na natureza, que não foi submetida a um processo de transformação, como o petróleo, que é extraído e transformado em energia secundária como a eletricidade ou óleo combustível (SPOSTO E PAULSEN, 2014).

O método CED calcula a energia usada em todo o ciclo de vida de um bem ou serviço. Isso inclui os usos diretos, assim como a energia indireta. O CED baseia-se no método publicado por Jungbluth e Frischknecht (2007) e se constitui de cinco categorias: não renováveis, fósseis; não renovável, nuclear; renovável, biomassa; renovável, eólica, solar, geotérmica; renovável, água (EUROPEIAN COMMISSION, 2010).

Várias abordagens foram propostas visando obter uma análise de desempenho energético de sistemas de produção de energia, dentre as quais destacam-se: Requerimento de Energia Total (*Gross Energy Requirements*), Tempo de Retorno de Investimento em Energia (*Energy Payback Time*), Fator de Produção de Energia (*Energy Yield Factor*) e Ganho Energético (*Energy 48 Gain*). (IFIAS, 1978; HAAL et al., 1986; KEIOLEIAN e LEWIS, 1997; ANSEMA, 1998)

Atualmente, a abordagem *Requerimento de Energia Total* vem sendo a mais utilizada para calcular o consumo de energia primária durante o ciclo de vida de um produto. Devido à falta de uniformidade nas terminologias referentes às análises de desempenho energético, esta abordagem passou a ser conhecida como Demanda Acumulada de Energia (*Cumulative Energy Demand – CED*) (KLOPFER, 1997; FUKUROZAKI, 2011).

A DEA faz uma somatória de todas as energias em toda a fase de ciclo de vida do produto, como mostrado na EQUAÇÃO 1:

EQUAÇÃO 1 - SOMATÓRIA CAD

$$CED = \sum_{i=1}^n En_{input}$$

A equação mostra que todas as energias de entrega devem ser somadas. Já as energias de saída são referidas às energias contidas nos produtos e co-produtos dos sistemas. A maioria dos estudos sobre balanço energético de biocombustíveis considera a Relação de Substituição de Energia Fóssil ao invés da relação de energia total. A Relação de Substituição de Energia Fóssil, ou simplesmente FER, calcula a relação entre a energia produzida pelo sistema e o Demanda Acumulada de Energia Fóssil, tendo em vista que essa energia fóssil não é renovável, podendo causar fortes impactos para o meio ambiente (PRADHAN et al, 2009; XU et al. 2011).

EQUAÇÃO 2 - SOMATÓRIA DE ENTRADAS E SAÍDAS

$$FER = \frac{PCI_{output}}{CED_{fóssil}} \left[\frac{GJ_{produtos}}{GJ_{energia\ fóssil\ de\ entrada}} \right]$$

Com o método DEA, é possível, basicamente, saber quais os tipos de energia mais utilizados para a geração de um produto ou processo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a classificação da pesquisa, descrever o caso, e por fim, apresentar a metodologia utilizada.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho é caracterizado como um estudo de caso exploratório, que consiste na utilização de um ou mais métodos de coleta de informações. Este tipo de pesquisa é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis (GIL, 1987).

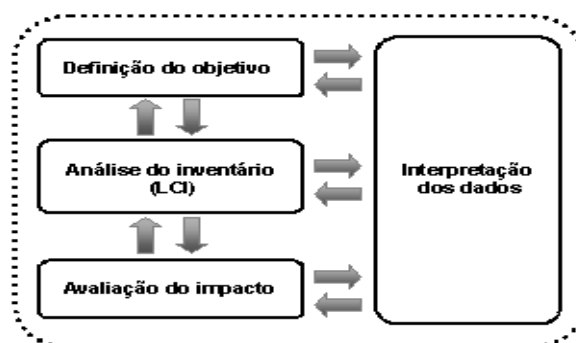
Segundo Yin (2001), um estudo de caso tem como objetivo explorar, descrever e explicar o evento ou fornecer uma compreensão profunda do fenômeno.

O estudo de caso como método de pesquisa requer do pesquisador cuidados com o desenho do protocolo, explicando os procedimentos formais e reconhecendo pontos fortes e limitações do estudo (YIN, 2010).

3.2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização do ACV foram as normas ISO 14040 e 14044, seguindo os quatro passos citados na mesma, para melhor entendimento do processo (ISO, 2009). Os passos para a realização da ACV podem ser visualizados na FIGURA 8:

FIGURA 8 - ETAPAS DE ELABORAÇÃO DA ACV



FONTE: ISO 14040:2009

3.2.1 Escopo e objetivo

Como citado anteriormente, o objetivo do trabalho é avaliar os impactos gerados no transporte de reciclagem de eletroeletrônicos - REE. O escopo do trabalho está delimitado da produção até a reciclagem dos eletroeletrônicos, mas enfoque no transporte desses itens.

A empresa que recebe os eletroeletrônicos para desmonte é a empresa Fênix Reciclagem, que está localizada em Sarandi – PR, e a mesma recebe eletroeletrônicos de várias cidades da região, incluindo Jandaia do Sul – PR, onde está localizada a Universidade Federal do Paraná, Campus Jandaia do Sul. A cidade está situada a 390 km da capital, e conta com aproximadamente 21.000 habitantes.

Foram realizadas duas visitas técnicas, na Acaman e na Fênix Reciclagem, para ver como o processo de separação e desmonte ocorre.

A descrição e quantidade de eletrônicos são advindos dos resultados de um dos projetos de extensão que a Universidade Federal do Paraná – UFPR oferece, destaca-se o projeto Práticas Ambientais Sustentáveis (PAS), que busca levar a conscientização ambiental para os escolares, comunidade acadêmica da própria universidade, e toda a população de Jandaia do Sul e região.

O projeto propõe atividades e intervenções junto à comunidade como forma de conscientizar o cidadão quanto ao seu papel em relação ao meio ambiente e demonstrar a importância e necessidade de mudança de hábitos, tanto individualmente, quanto coletivamente, de forma a dar ao meio ambiente o tratamento adequado e que sempre mereceu receber (UFPR, 2016). Uma das maiores ações realizadas pelo PAS é a coleta de lixo eletrônico, realizada uma vez por ano, na Praça do Café, onde qualquer pessoa pode deixar produtos eletrônicos, sabendo que ele terá um descarte adequado.

A educação ambiental afirma valores e ações que contribuem para a transformação humana e social, bem como para a preservação ecológica (SPIRONELLO et al., 2012).

De Jandaia do Sul, os eletroeletrônicos são encaminhados para Mandaguari, para a Associação dos Catadores de Mandaguari (Acaman), que fazem a separação dos itens; após isso, eles são vendidos para uma empresa de Sarandi, que é responsável pelo desmonte e encaminhamento para a reciclagem, que é feita em

Curitiba; após Curitiba, os produtos são encaminhados para a Alemanha, para a última parte da cadeia.

A unidade funcional do estudo é total do transporte da coleta no município de Jandaia do Sul no Paraná, com região geográfica delimitada de Jandaia do Sul para separação no município de Mandaguari, pré-reciclagem na cidade de Sarandi e posterior transporte para reciclagem em Curitiba.

Foram elaborados dois cenários de coletas de resíduos eletroeletrônicos no município de Jandaia do Sul:

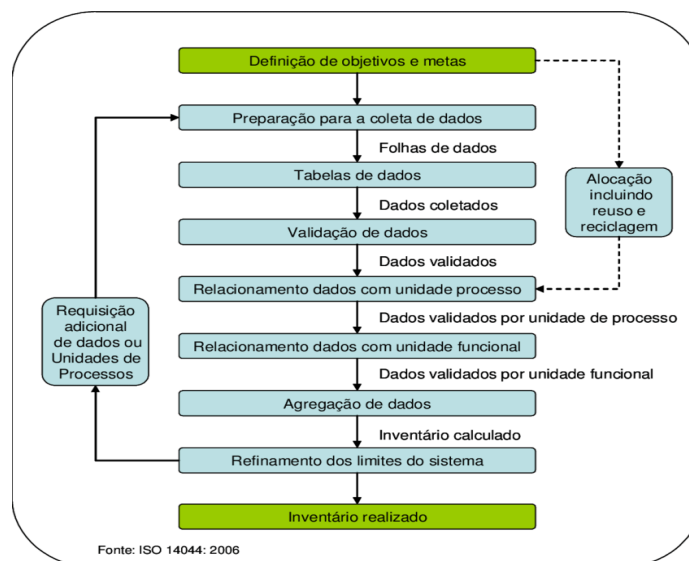
Cenário 1 – Coleta de REE em Jandaia do Sul, uma vez a ano e o transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari (separação - Acaman), Mandaguari à Sarandi (pré-reciclagem Fênix) e Sarandi à Curitiba (recicladora).

Cenário 2 - Coletas realizadas trimestralmente (hipotético), supondo que a coleta ocorre mais vezes ao ano e o transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari (separação - Acaman), Mandaguari à Sarandi (pré-reciclagem Fênix) e Sarandi à Curitiba (recicladora).

3.2.2 Inventário

A fase de análise do inventário, etapa mais crítica do ACV, pode ser dividida em vários procedimentos, como mostrado na FIGURA 9.

FIGURA 9 - PROCEDIMENTOS SIMPLIFICADOS PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO



FONTE: ISO 14044:2009

3.2.3 Coleta de dados

Na coleta de 2019, os itens foram contabilizados para mensurar o total de eletroeletrônicos coletados em Jandaia do Sul pela iniciativa do PAS da UFPR. A TABELA 4 mostra todos os itens coletados, e as respectivas quantidades.

TABELA 4 - LISTAGEM DE ELETRÔNICOS COLETADOS

Toner	307	Ferro de passar	8	Instrumento médico	2
TV	76	Nobreak	7	Tocafitas	2
Celular	73	Microfone	6	Termômetro	2
Receptores de satélite	61	VHS	6	Tradutores	2
Cabos	60	Ar condicionado	5	Câmera de segurança	2
Teclado	58	Micro-ondas	5	GPS	2
Caixa/aparelho de som	48	Carregador portátil	4	Máq. de cartão	1
Gabinete	40	Extensão	4	Máq. de escrever	1
Controle	37	Batedeira	4	Cortador de papel	1
Mouse	35	Joystick	4	Radar	1
Impressora	34	Ventilador	4	Dispenser de água	1
Telefone	32	Furadeira	4	Impressora de nota	1
Monitor	30	Lanterna	3	Centrífuga	1
Componente de computador	25	Webcam	3	Aparador de pelo	1
Calculadora	21	Chuveiro	3	Geladeira	1
Notebook	13	Autofalante	3	Aspirador de pó	1
Câmera	12	Secador de cabelo	3	Secadora	1
Fones	11	Chapinha	3	Filtro para aquário	1
DVD	10	Videogame	2	Lixadeira	1
Relógio	9	Luminária	2	Amplificador	1
Liquidificador	9	Barbeador	2	Balança	1
Tablets	8	Scanner	2	TOTAL	1123

FONTE: PAS (2019)

Jandaia do Sul encontra-se a 8 km de distância de Mandaguari, e o cálculo utilizado para a quantidade gasta de etanol foi de 9,2 km/L e 13,4 km/L para a gasolina. Mandaguari encontra-se a 23,4 km de Sarandi, e Curitiba está a 419,5 km de Sarandi.

O levantamento de dados primários para os inventários de ciclo de vida do processo em estudo foi feito a partir das visitas técnicas realizadas na associação Acaman e a Recicladora Fênix.

Os dados secundários, dos inventários de produção de caminhão, diesel, gasolina e Etanol foram obtidos no banco de dados *Ecoinvent* no *software SimaPro* 9, que fornece diversos valores de cargas ambientais.

3.2.4 Método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV

No método de avaliação do impacto ambiental AICV foram utilizados três métodos de avaliação: o de emissões de gases de efeito estufa, de acordo com o IPCC, o método ReCiPe e método Demanda de Energia Acumulada (DEA).

A produção e o uso da energia estão fortemente relacionados com o desenvolvimento das sociedades, trazendo muitos benefícios: a possibilidade de utilização de aparelhos elétricos, a preparação e a conservação de alimentos e o conforto térmico nas residências; os transportes de pessoas e de cargas mais rápidos e eficientes; a grande diversificação das indústrias e dos produtos fabricados; entre muitos outros. Entretanto, também apresentam diversos impactos negativos. De fato, a forma como a energia é produzida e utilizada está na origem de muitos dos problemas ambientais atuais (GOLDEMBERG, 2003).

Entre as interações que se observa nessa interface e que causam extrema preocupação ambiental podem ser citadas: as mudanças no uso do solo devido à exploração dos combustíveis e construção das usinas; os impactos estéticos relacionados à infraestrutura da usina de energia; a poluição térmica advinda da queima dos combustíveis; a geração de ruídos, de ondas eletromagnéticas e de radiação ionizante; o risco de acidentes na exploração dos combustíveis e na geração da energia; a geração de efluentes sólidos, líquidos e gasosos que provocam danos à saúde humana e ao ecossistema (DINCER, 1998; TESTER et al., 2005).

Entre os impactos citados anteriormente relacionados à energia, a mudança climática global tem se mostrado a mais preocupante (DINCER, 1998; DINCER; ROSEN, 1999; BALAT, 2005). Primeiramente, pelo fato de seu efeito atingir uma escala global: os gases causadores desse impacto se dispersam rapidamente na atmosfera terrestre, não fazendo diferença a localização onde são emitidos e provocam mudanças globais na circulação de água e ar (SCHELLING, 1990). Além disso, o principal gás do efeito estufa – o CO₂ – é proveniente da queima de combustíveis fósseis, que são a maior fonte de energia utilizada. No ano de 2007,

68% da eletricidade produzida no mundo utilizava combustíveis fósseis (IEA, 2009) e a projeção feita para o ano de 2030 é que essa porcentagem deva permanecer nesse patamar (IEA, 2008).

3.2.5 Tratamento e interpretação dos dados

Os dados primários e secundários foram transcritos e modelados para uma unidade comum, tendo por padrão os elementos relacionados às dimensões de contexto, estrutura e coleta para inventário de ciclo de vida.

A escolhido para tratamento dos dados foi o Software *SimaPro 9*, que foi desenvolvido pela empresa PRé *Sustainability* em 1990 e segue as recomendações da norma ISO 14040 e 14044 (FGC EASP, 2019).

O software *SimaPro* é extremamente amplo, por conter informações e dados de uma alta quantidade de insumos e de vários países. Devido a isso, é importante fazer algumas alterações para que o resultado final seja o mais preciso e próximo da realidade. Apenas alguns dados foram alterados, porque a alteração completa de todo o processo seria muito extenso e levaria muito tempo. Alguns países, como China, por exemplo, tem muitos dados, o que facilita na construção de projetos no país; o Brasil, por outro lado, conta com poucos dados no banco de dados, e por isso, muitas vezes, é necessário uma adaptação.

Em todas as etapas de transporte (Jandaia do Sul à Mandaguari, Mandaguari à Sarandi e Sarandi à Curitiba), foram necessárias alterações no software, como mostrado na Tabela 5. Esses valores foram obtidos a partir do peso carregado de uma cidade à outra multiplicado pela distância em km. Na Tabela 6, de Jandaia do Sul à Mandaguari, por exemplo, no cenário 1 foram coletados 3,7 toneladas de eletroeletrônicos e foram transportados a Mandaguari que fica a uma distância de 8 km, chegando a um total de 29,6 tkm (tonelada por quilômetro). No *Simapro*, os valores estavam de acordo com 1 tkm, por isso alterações como mostradas a seguir foram feitas em todas as partes.

TABELA 5 - ALTERAÇÕES FEITAS NO SIMAPRO

Nome	Valor no <i>SimaPro</i>	Valor após alteração
Diesel {BR}	0,010371102	0,30698462
Diesel, baixo teor de enxofre {BR}	0,003887147	0,11505955
Amônia	1,41924E-07	4,201E-06
Arsênico	1,42583E-12	4,2205E-11
Benzeno	3,61338E-07	1,0696E-05
Cádmio	1,24047E-10	3,6718E-09
Dióxido de carbono, fóssil	0,045013291	1,33239341
Monóxido de carbono, fóssil	8,21898E-05	0,00243282
Cromo	4,27747E-10	1,2661E-08
Cromo VI*	8,55495E-13	2,5323E-11
Cobre	3,02275E-10	8,9473E-09
Monóxido de dinitrogênio	6,34426E-07	1,8779E-05
Mercúrio	7,55687E-11	2,2368E-09
Metano, fóssil	5,19289E-07	1,5371E-05
Níquel	1,25473E-10	3,714E-09
Óxidos de nitrogênio	0,000486893	0,01441203
NMVOC, compostos orgânicos voláteis não metano, origem não especificada	2,11177E-05	0,00062508
Particulados, < 2.5 um	1,55527E-05	0,00046036
Selênio	1,42583E-12	4,2205E-11
Dióxido de enxofre	1,07598E-05	0,00031849
Zinco	2,47808E-08	7,3351E-07
Emissão de desgaste do freio, caminhão {GLO}	1,47818E-05	0,00043754
Emissão de desgaste da estrada, caminhão {GLO}	1,27273E-05	0,00037673
Emissão de desgaste do pneu, caminhão {GLO}	0,000146455	0,00433507

* Cromo VI: cromo hexavalente, são aqueles que contêm o elemento cromo no estado de oxidação +6. Cromatos, os quais são compostos de cromo (VI), são frequentemente usados como pigmentos para fotografia, pigmentos diversos, tintas, pirotecnia, plásticos e outros.

Fonte: Autor (2021)

Algumas alterações também foram feitas para que fossem de acordo com o Brasil, como mostrado na TABELA 6.

TABELA 6 - ALTERAÇÕES FEITAS NO SIMAPRO

Produto	Nome no <i>SimaPro</i>	Mudanças Realizadas
Caminhão	Lorry, 40 metric ton {RER*} production Cut-off, U	Caminhão de RER para BR; Água de RoW para BR; Eletricidade de GLO para BR; Diesel, baixo teor de enxofre de GLO*** para BR.
Caminhão	Lorry, 40 metric ton {RoW**} production Cut-off, U	Caminhão de RoW para BR; Água de torneira de mix de países para BR.

* RER – Europa

** Row – Rest of the world (resto do mundo)

*** GLO - Global

Fonte: Autor (2021)

Essas alterações foram feitas para que o trabalho ficasse mais adequado a realidade brasileira, já que o valor de eletricidade, água, e diesel foram alterados para os valores do país. Isso é necessário, já que existe diferenças de insumos de um país a outro.

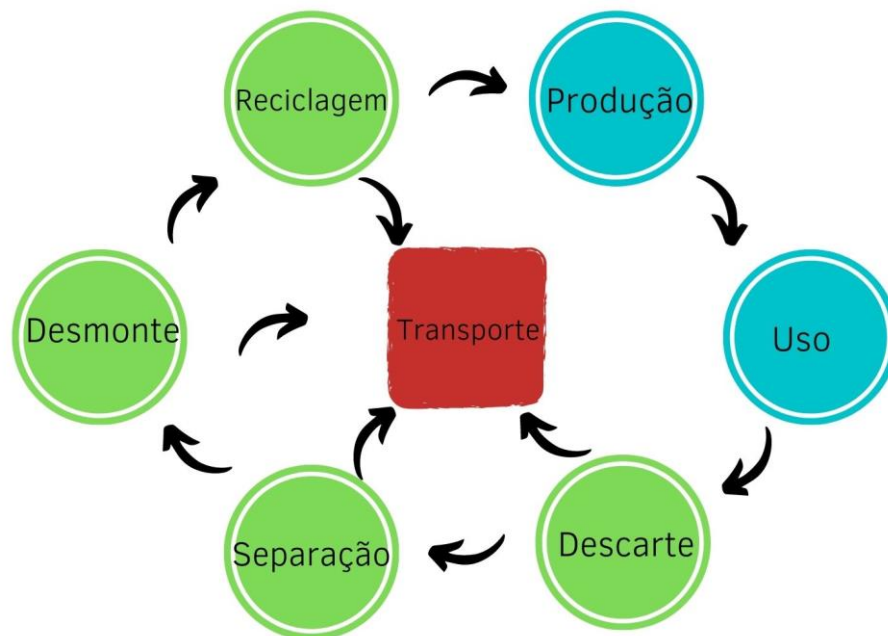
A interpretação dos dados foi feita após tratamento dos dados no *software SimaPro*, com licença adquirida pela UFPR Jandaia do Sul. O *SimaPro* conta com um amplo banco de dados, *Ecoivent* e métodos de AICV.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO DO CASO

Em 2019, o PAS coletou 1123 itens variados de eletroeletrônicos. Esses itens foram transportados de Jandaia do Sul à Mandaguari, depois à Sarandi e posteriormente à Curitiba. Devido ao transporte de uma cidade à outra, há a geração de emissões prejudiciais ao meio ambiente, surgindo aí a importância de quantificar esses impactos.

FIGURA 10 - ESCOPO



FONTE: Autora (2020)

As partes destacadas em verde serão as analisadas no presente trabalho, e o transporte, destacado em vermelho, é o foco da análise, já que o transporte de uma cidade à outra gera emissões dos combustíveis.

4.1.1 Objetivo do ACV

O transporte é o maior emissor de CO₂ no Brasil, de acordo com o relatório do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2019).

Assim, o objetivo do trabalho é quantificar os impactos ambientais gerados a partir do transporte dos resíduos eletroeletrônicos - REE coletados em 2019 pelo projeto PAS da UFPR.

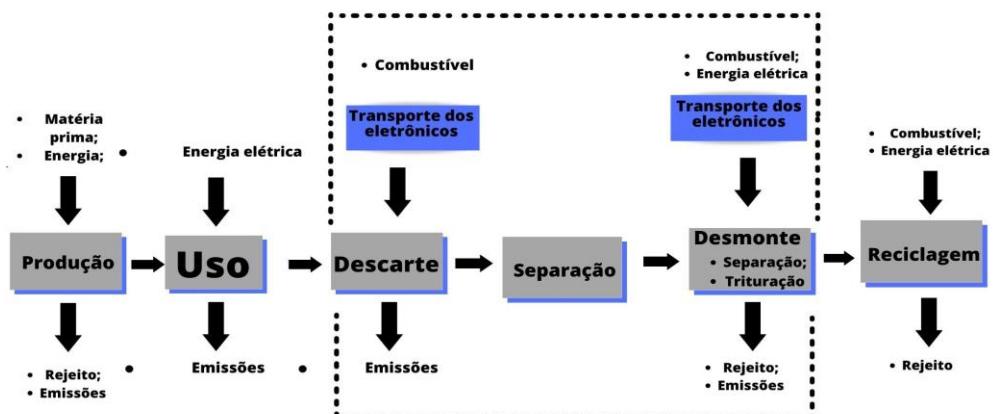
Dois cenários foram analisados: o Cenário 1 usado como base para o trabalho, foi o cenário real com a coleta de REE ocorrendo uma vez por ano pelo PAS. O valor utilizado foi o de 1123 itens, pesando aproximadamente 3,7 toneladas. E o Cenário 2 é um cenário hipotético, onde a coleta é realizada trimestralmente, sendo assim, supõe-se que por a coleta ser realizada com mais frequência, o peso aumenta aproximadamente 20%, para 4,44 toneladas.

4.1.2 Definição do sistema

Nessa seção, identificam-se os processos excluídos e os incluídos no estudo. O trabalho delimitou-se ao transporte de uma cidade à outra, até Curitiba, principalmente devido à pandemia de COVID-19, que teve início em 2020, e prejudicou o andamento do trabalho, assim como visitas técnicas, e uma posterior abrangência do estudo.

Baseado na FIGURA 10, a modelagem do sistema foi elaborada, seguindo o ciclo de vida e conforme as entradas e saídas do inventário de ciclo de vida, e com a delimitação mostrada na FIGURA 11, onde é possível visualizar que o foco do trabalho é o transporte entre o descarte, separação e desmonte (pré-reciclagem).

FIGURA 11 - MODELAGEM DO SISTEMA



FONTE: Autora (2020)

- Descarte: o descarte é feito em Jandaia do Sul, e recolhido pelo PAS;
- Separação: a separação é feita pela Acaman, e que separam todos os itens, e vendem para a empresa Fênix Reciclagem;
- Desmonte: quando os eletroeletrônicos chegam a Sarandi, eles devem ser desmontados para seguirem para a reciclagem. Os itens podem ser separados de acordo com a sua classificação (eletrodomésticos, monitores, celulares). Depois, são separados os tipos de materiais (plástico, metal, vidro, borracha) e componentes (cabos, fios, fonte, placa de circuito impresso) que tenham valor de mercado.
- Reciclagem: os itens são vendidos para uma empresa de Curitiba, responsável pela reciclagem.

4.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

Na análise de inventário, as entradas e saídas são apresentadas. O presente trabalho analisou somente a fase de transporte dos eletroeletrônicos, e não todo o processo produtivo.

4.2.1 Transporte de eletroeletrônicos

Os eletroeletrônicos são buscados na cidade de origem por um caminhão, que faz o transporte dos itens para as posteriores cidades. Na TABELA 7, são apresentadas as distâncias percorridas de uma cidade à outra.

TABELA 7 - DISTÂNCIAS PERCORRIDAS

Percurso	Distância percorrida (km)
Jandaia do Sul à Mandaguari	8
Mandaguari à Sarandi	23,4
Sarandi à Curitiba	419,5

FONTE: Autor (2021)

No *SimaPro*, todos os inventários estavam de acordo com 1 tkm, então após a multiplicação de toneladas por quilômetros, todos os dados da tabela foram alterados em todas as etapas de análise, como mostrado na TABELA 8.

TABELA 8 - INVENTÁRIO DE INSUMOS E EMISSÕES DO TRANSPORTE DE ELETROELETRÔNICOS

Entradas	Unidade	Valor
Caminhão > 32 toneladas	p	8,85E-08
Diesel	kg	0,010371
Diesel com baixo teor de enxofre	kg	0,003887
Saídas - emissões	Unidade	Valor
Amônia	kg	1,42E-07
Arsênico	kg	1,43E-12
Benzeno	kg	3,61E-07
Cádmio	kg	1,24E-10
Dióxido de carbono, fóssil	kg	0,045013
Monóxido de carbono, fóssil	kg	8,22E-05
Cromo	kg	4,28E-10
Cromo VI	kg	8,55E-13
Cobre	kg	3,02E-10
Monóxido de dinitrogênio	kg	6,34E-07
Mercúrio	kg	7,56E-11
Metano, fóssil	kg	5,19E-07
Níquel	kg	1,25E-10
NMVOC, compostos orgânicos voláteis não metano, origem não especificada	kg	2,11E-05
Particulados	kg	2,11E-05
Selênio	kg	1,43E-12
Dióxido de enxofre	kg	1,08E-05
Zinco	kg	1,08E-05

FONTE: Adaptado do *SimaPro* (2021)

4.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA – AICV

4.3.1 AICV do cenário 1

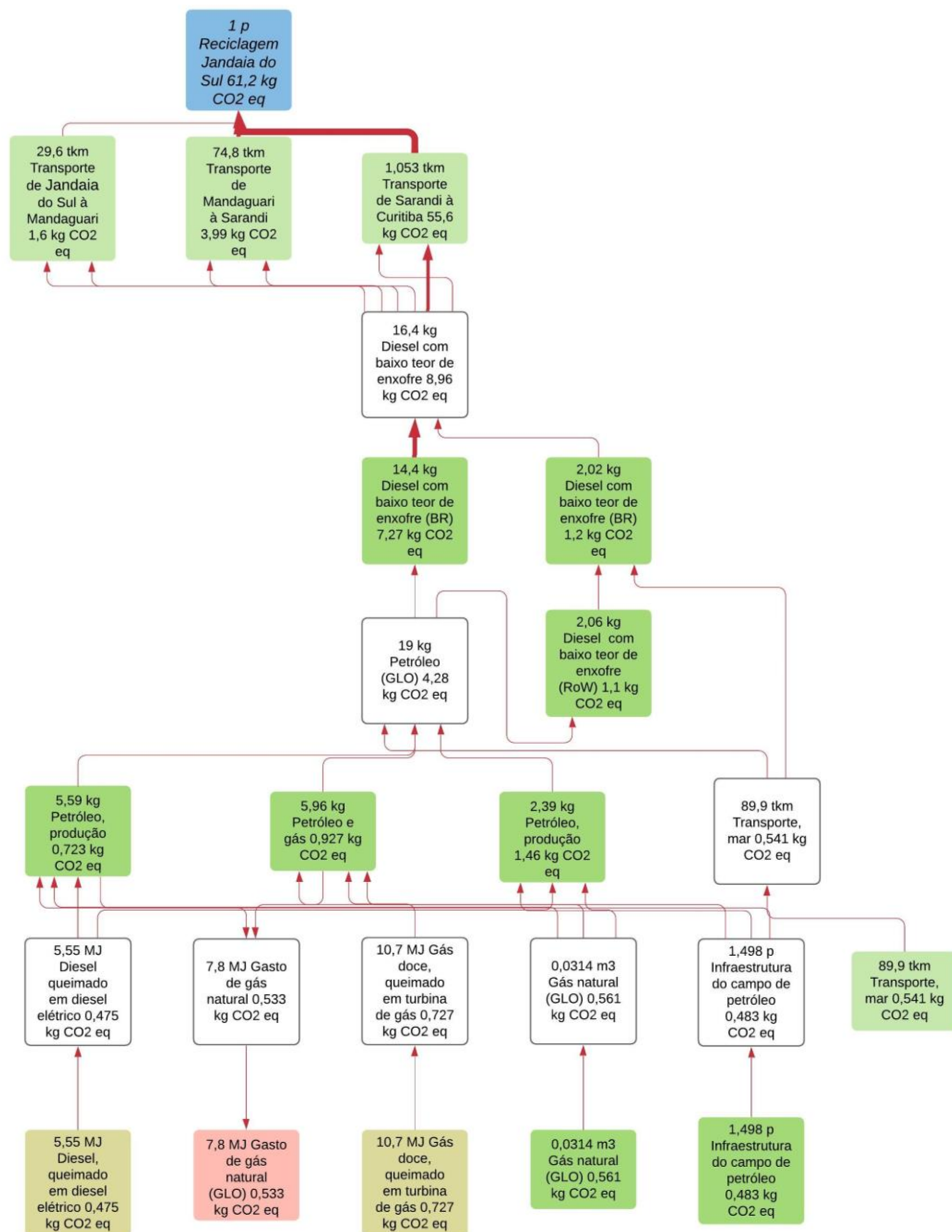
O Cenário 1 é aquele com a coleta sendo realizada uma vez por ano, usando os dados cedidos pelo projeto PAS da UFPR, e referentes ao ano de 2019. Nesse ano, foram coletados 1123 itens, com um peso aproximado de 3,7 toneladas, que foram transportados para Mandaguari. Na Acaman, eles retiram o que podem de plástico e outros itens que podem ser facilmente reciclados, portanto, eles saem do local com menos peso do que entraram, com aproximadamente, 3,2 toneladas. E na empresa Fênix, eles também retiram alguns componentes, saindo do local com aproximadamente 2,5 toneladas.

O software *SimaPro* fornece uma árvore de fluxos, onde é possível ver todos os processos envolvidos até se chegar ao produto final, como mostrado na FIGURA 12.

A modelagem em rede funciona como um gráfico de fluxo, onde as linhas vermelhas são os fluxos e as caixas os produtos, representadas por diferentes cores dependendo da sua classificação (material, transporte, resíduo, energia).

Os insumos que aparecem na primeira linha são os que mais geram impacto no processo, em seguida temos os que mais impactam no ciclo de vida destes, sendo como o próprio nome sugere um gráfico de rede.

FIGURA 12 – MODELAGEM EM REDE DO TRANSPORTE DOS REE EM JADAIA DO SUL – 2019



FONTE: Autor (2021)

Na próxima sessão, será apresentada a AICV (Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida), conforme os métodos propostos, e a comparação dos cenários.

4.3.1.1 AICV método IPCC

Os dados mostrados na TABELA 9 foram gerados a partir do método IPCC, onde é possível visualizar as emissões Gases de Efeito Estufa - GEE em kg CO₂ equivalentes.

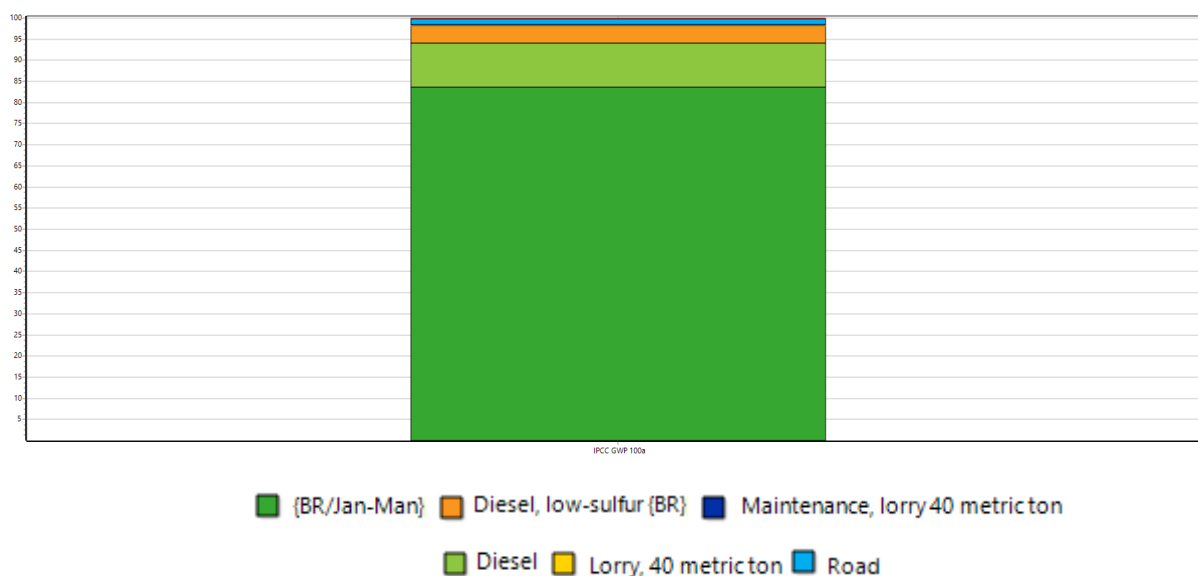
TABELA 9 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE JANDAIA À MANDAGUARI, MÉTODO IPCC

Categoria de impacto	Unidade	Total
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq.*	1,598038627

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 13 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE JANDAIA DO SUL À SARANDI, MÉTODO IPCC



FONTE: Autor (2021)

A FIGURA 13 está relativizada a 100%, e é possível verificar quais são os maiores emissores de gases de efeito estufa, que é o transporte de uma cidade à outra (87% aproximadamente), seguido pela fabricação do diesel (8%). O diesel é um emissor, porque para a sua produção existem muitos processos, que consequentemente emitem gases de efeito estufa.

É possível verificar que as emissões de Mandaguari à Sarandi são maiores, devido à distância de uma cidade à outra.

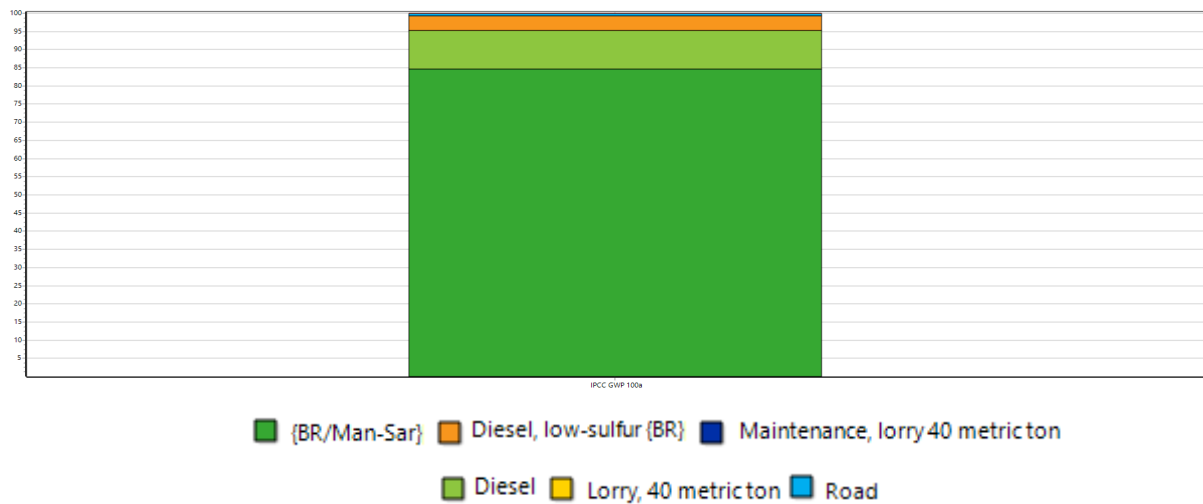
TABELA 10 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE MANDAGUARI À SARANDI, MÉTODO IPCC

Categoria de impacto	Unidade	Total
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq.*	3,992201356

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 14 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE DE MANDAGUARI À SARANDI, MÉTODO IPCC



FONTE: Autor (2021)

Os itens de diesel foram adaptados à realidade brasileira, já que existem diferenças de combustíveis de um país para outro.

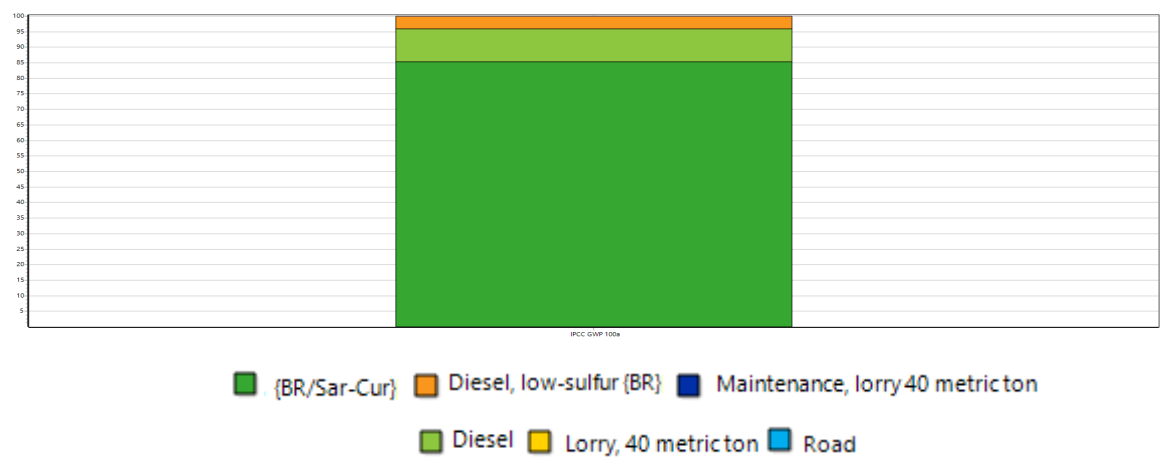
TABELA 11 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE O TRANSPORTE DE SARANDI À CURITIBA

Categoria de impacto	Unidade	Total
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq.*	55,57865831

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 15 - EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE SARANDI À CURITIBA, MÉTODO IPCC



FONTE: Autor (2021)

Na TABELA 12, observa-se que a distância que mais emite gases, é a de Sarandi à Curitiba, já que a distância de uma cidade à outra é maior, 419,5 km.

Conforme a Tabela 12, podemos ver a junção das três distâncias percorridas:

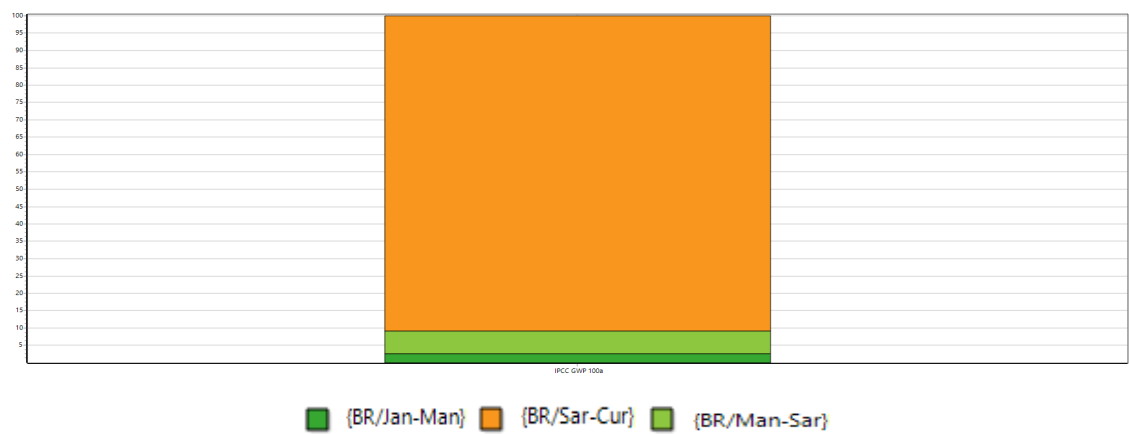
TABELA 12 – TOTAL DE EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE, MÉTODO IPCC

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari	Transporte de Mandaguari à Sarandi	Transporte de Sarandi à Curitiba
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq.*	61,1689	1,598038627	3,992201356	55,57865831

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 16 – EMISSÕES DE GEE DO TRANSPORTE DOS REE, MÉTODO IPCC



FONTE: Autor (2021)

Podemos observar na TABELA 12 e FIGURA 16 que a coleta realizada uma vez por ano tem um total geral de 61,1689 kg CO₂ eq, sendo o maior emissor o trajeto de Sarandi à Curitiba (92% do total). Para vias de comparação e identificar os categorias de impacto ambiental.

4.3.1.2 AICV método ReCiPe

A TABELA 13 apresenta a caracterização da avaliação do impacto do ciclo de vida – AICV, gerados a partir da metodologia ReCiPe.

TABELA 13 – CARACTERIZAÇÃO DA AICV DO TRASPORTE DA COLETA DE REE - JANDAIA À MANDAGUARI - 2019, MÉTODO RECIPE

Categoria de impacto (endpoint)	Categoria de impacto (midpoint)	Unidade	Total
Dano à saúde humana	Aquecimento global (saúde humana)	DALY*	5,69E-05
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY	1,29E-08
	Radiação ionizante	DALY	4,73E-09
	Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	5,51E-07
	Formação de material particulado fino	DALY	8,06E-05
	Toxicidade humana cancerígena	DALY	6,64E-07
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY	7,14E-06
	Consumo de água (saúde humana)	DALY	-7,2E-10
Dano ao ecossistema	Aquecimento global (ecossistema terrestre)	espécies.ano**	1,72E-07
	Aquecimento global (ecossistema aquático)	espécies.ano	4,69E-12
	Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	espécies.ano	7,87E-08
	Acidificação terrestre	espécies.ano	6,06E-08
	Eutrofização da água doce	espécies.ano	5,06E-10
	Eutrofização da água marinha	espécies.ano	1,28E-13
	Ecotoxicidade terrestre	espécies.ano	2,43E-08
	Ecotoxicidade água doce	espécies.ano	3,06E-10
	Ecotoxicidade água marinha	espécies.ano	1,78E-10
	Uso de terra	espécies.ano	1,18E-09
	Consumo de água (ecossistema terrestre)	espécies.ano	2,39E-10
	Consumo de água (ecossistema aquático)	espécies.ano	3,03E-13
Dano aos recursos naturais	Escassez de recurso mineral	\$***	0,005138
	Escassez de recurso fóssil	\$	8,987997

* DALY - *Disability Adjusted Life Years* - Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade

** Espécies.ano – Mortalidade espécies anos

*** (\$) USD – unidades de valor de recursos (em dólar)

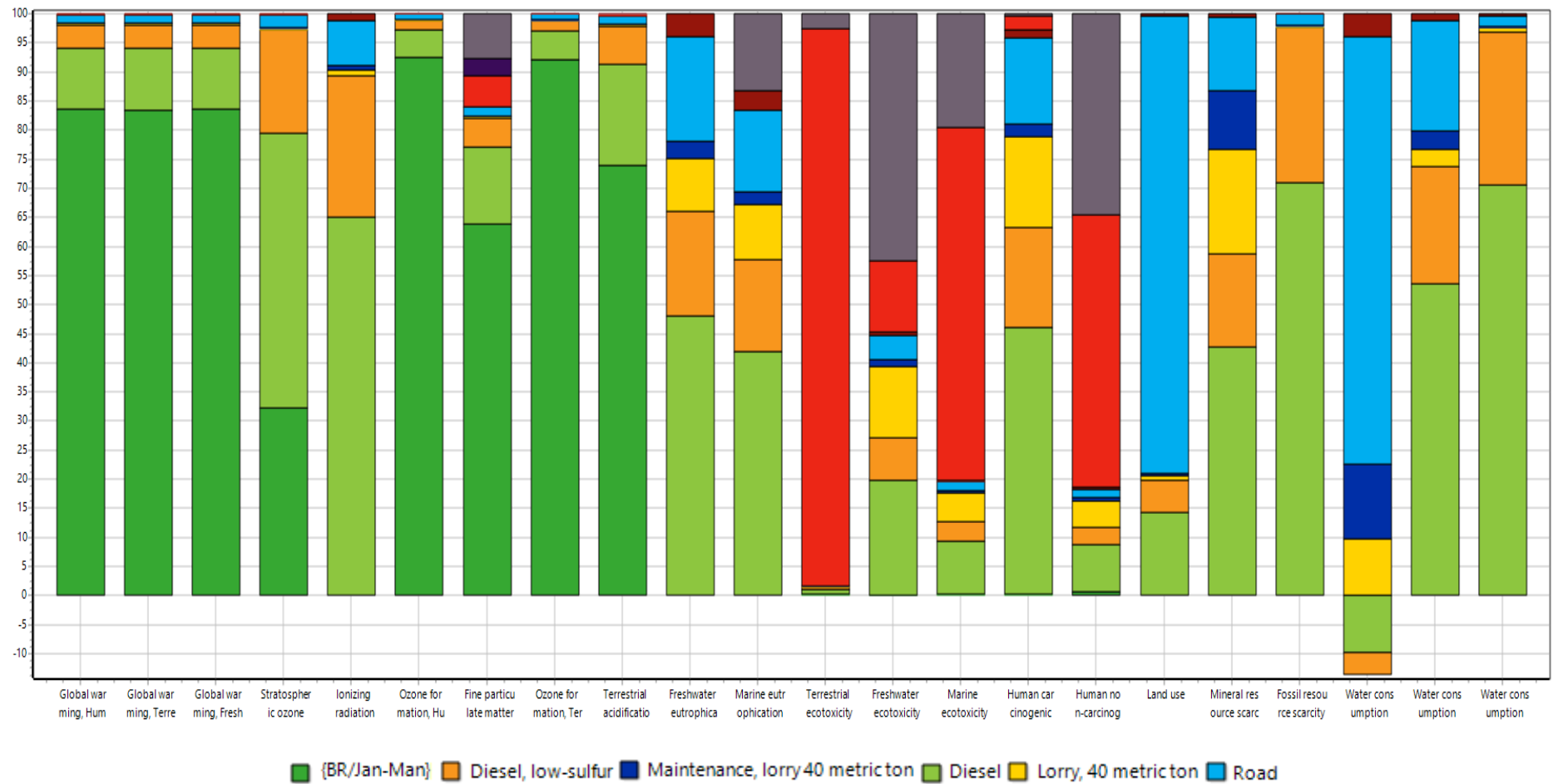
FONTE: Autor (2021)

Analisando a TABELA 13, observa-se que os maiores valores de impactos do transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari são de escassez de recursos fósseis com 8,987996936 USD2013, escassez de recursos minerais, com 0,00513845 USD2013 e formação de material particulado fino, com 8,0608E-05 DALY.

A Figura 17 mostra o impacto de cada insumo utilizado no transporte. No eixo horizontal temos as categorias de impacto do método, que são, por exemplo, aquecimento global, uso da terra, consumo de água, uso de recursos minerais, entre outros, e no eixo vertical percentual de impacto.

Cada entrada é representada por uma cor, a cor mais predominante na coluna, significa que causa maior impacto naquela categoria.

FIGURA 17 – GRÁFICO DE CARATERIZAÇÃO DA AICV DO TRASPORTE DOS REE DE JANDAIA DO SUL À MANDAGUARI, MÉTODO RECIPE



FONTE: Autor (2021)

Outra maneira de analisar a caracterização de impacto é por meio da tabela de caracterização que mostra quantitativamente o impacto de cada fase em cada categoria e também o impacto total causado pelo ACV do Cenário 1, em cada categoria. A TABELA 14 apresenta a caracterização total das fases de transportes dos eletroeletrônicos entre as cidades.

TABELA 14 – AICV DO CENÁRIO 1, MÉTODO RECIPE

Categoria de impacto (mid-point)	Unidade	Total	Transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari	Transporte de Mandaguari à Sarandi	Transporte de Sarandi à Curitiba
Aquecimento global (saúde humana)	DALY*	5,69E-05	1E-06	4E-06	5,17E-05
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	1,29E-08	3E-10	8E-10	1,17E-08
Radiação ionizante	DALY	4,73E-09	1E-10	3E-10	4,27E-09
Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	5,51E-07	1E-08	4E-08	5,01E-07
Formação de material particulado fino	DALY	8,06E-05	2E-06	5E-06	7,32E-05
Toxicidade humana cancerígena	DALY	6,64E-07	2E-08	5E-08	5,89E-07
Toxicidade humana não cancerígena	DALY	7,14E-06	2E-07	5E-07	6,47E-06
Consumo de água (saúde humana)	DALY	-7,2E-10	3E-10	2E-10	-1,2E-09
Aquecimento global (ecossistema terrestre)	espécies.ano**	1,72E-07	4E-09	1E-08	1,56E-07
Aquecimento global (ecossistema aquático)	espécies.ano	4,69E-12	1E-13	3E-13	4,26E-12
Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	espécies.ano	7,87E-08	2E-09	5E-09	7,16E-08
Acidificação terrestre	espécies.ano	6,06E-08	2E-09	4E-09	5,5E-08
Eutrofização da água doce	espécies.ano	5,06E-10	2E-11	4E-11	4,49E-10
Eutrofização da água marinha	espécies.ano	1,28E-13	5E-15	9E-15	1,15E-13
Ecotoxicidade terrestre	espécies.ano	2,43E-08	6E-10	2E-09	2,21E-08
Ecotoxicidade água doce	espécies.ano	3,06E-10	9E-12	2E-11	2,75E-10
Ecotoxicidade água marinha	espécies.ano	1,78E-10	5E-12	1E-11	1,61E-10
Uso de terra	espécies.ano	1,18E-09	1E-10	2E-10	9,14E-10
Consumo de água (ecossistema terrestre)	espécies.ano	2,39E-10	8E-12	2E-11	2,14E-10
Consumo de água (ecossistema aquático)	espécies.ano	3,03E-13	8E-15	2E-14	2,76E-13
Escassez de recursos mineral	(\$ USD***	0,005138	2E-04	0,0004	0,004521
Escassez de recurso fóssil	(\$ USD	8,987997	0,236	0,5874	8,164896

* DALY - *Disability Adjusted Life Years* - Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade

** Espécies.ano – Mortalidade espécies anos

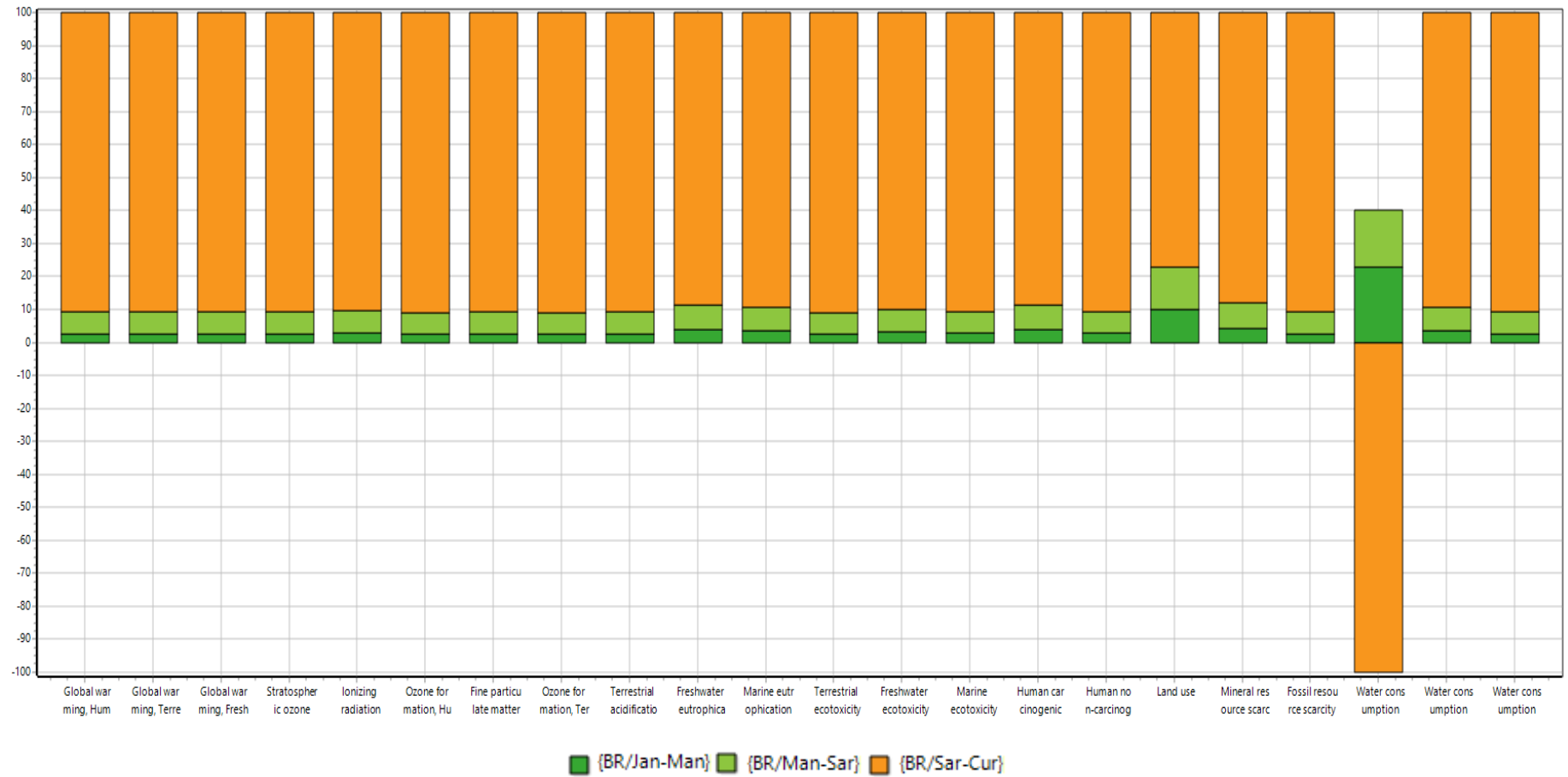
*** (\$ USD – unidades de valor de recursos (em dólar)

FONTE: Autor (2021)

Na TABELA 14, em relação ao impacto total, na categoria de dano à saúde humana, é possível notar que as categorias que mais sofrem impacto são a formação de material particulado e aquecimento global, já na categoria de dano ao ecossistema as categorias que mais sofrem impacto são aquecimento global em ecossistema terrestre e formação de ozônio; e na categoria de uso de recursos naturais, e a categoria de recursos minerais é a de maior impacto.

Na FIGURA 18, percebe-se que o consumo de água, em relação à saúde humana, é negativo, devido ao reuso da água em alguns processos.

FIGURA 18 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DOS REE EM JANDAIA DO SUL - 2019, MÉTODO RECIPE



FONTE: Autor (2021)

4.3.1.3 AICV método DEA

A seguir serão apresentados os gráficos realizados a partir do método de análise Demanda de Energia Acumulada.

A TABELA 15 e a FIGURA 25 mostram que a energia mais utilizada no transporte brasileiro é a energia fóssil não renovável.

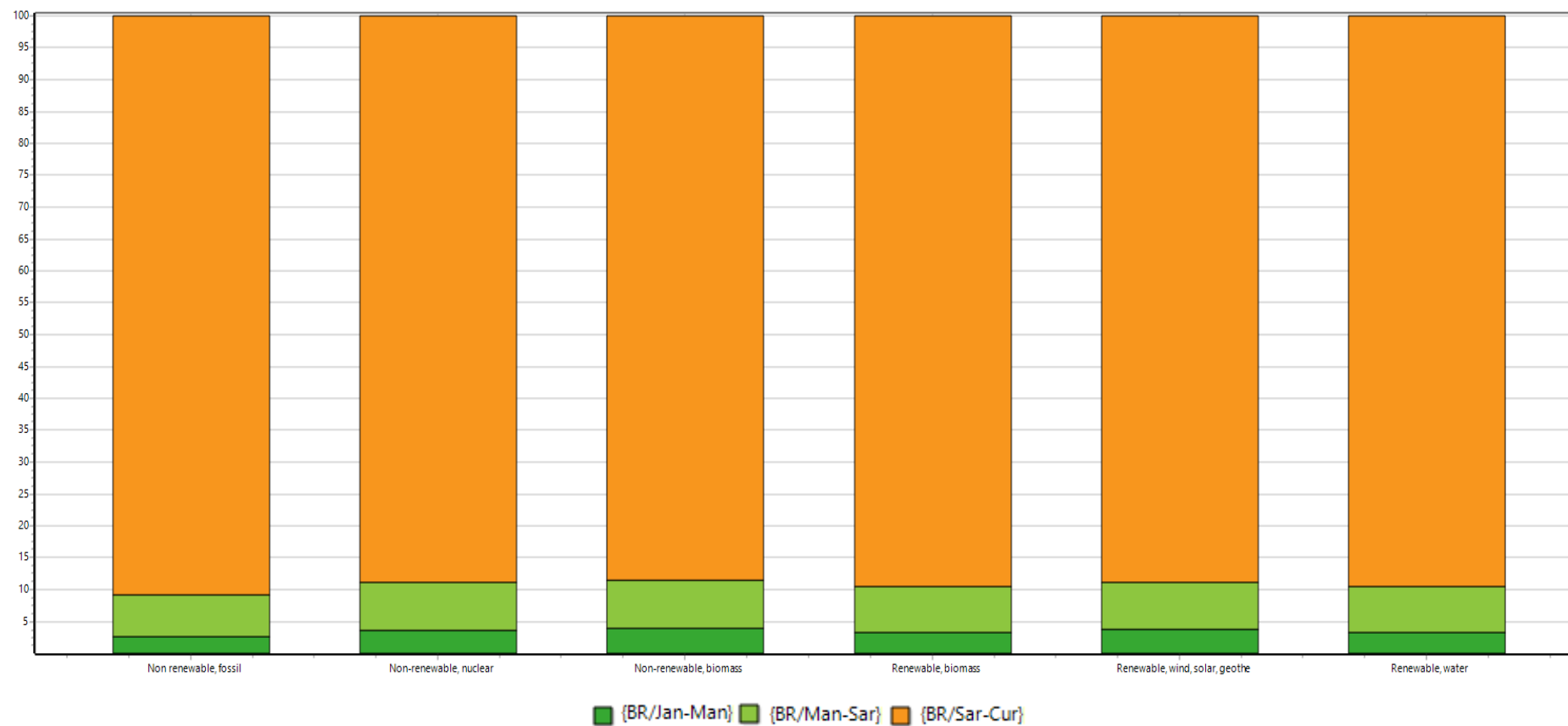
TABELA 15 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE REE DE JANDAIA DO SUL - 2019, MÉTODO DEA

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari	Transporte de Mandaguari à Sarandi	Transporte de Sarandi à Curitiba
Energia fóssil, não renovável	MJ*	862,8368	22,72406	56,47222	783,6405
Energia nuclear, não renovável	MJ	2,354983	0,0861	0,175116	2,093766
Energia da biomassa, não renovável	MJ	0,002807	0,000109	0,000214	0,002485
Energia da biomassa, renovável	MJ	0,624673	0,02076	0,044639	0,559274
Energia eólica, solar, geotérmica, renovável	MJ	0,2555	0,009474	0,019115	0,22691
Energia hídrica, renovável	MJ	1,535109	0,051495	0,110116	1,373498

* MJ - Megajoule

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 19 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE ELETRÔNICOS DE JANDAIA DO SUL – 2019, CENÁRIO 1, MÉTODO DEA



FONTE: Autor (2021)

4.3.2 AICV do cenário 2

O Cenário 2 é hipotético, e suas análises foram feitas com base em coletas realizadas trimestralmente. Supondo que já que a coleta ocorre mais vezes ao ano, a população não se vê tão tentada a descartar os itens de forma incorreta, por isso, mais itens são coletados, totalizando um peso de 4,4 toneladas anuais de Jandaia do Sul à Mandaguari, 3,8 toneladas de Mandaguari à Sarandi e 2,96 toneladas de Sarandi à Curitiba.

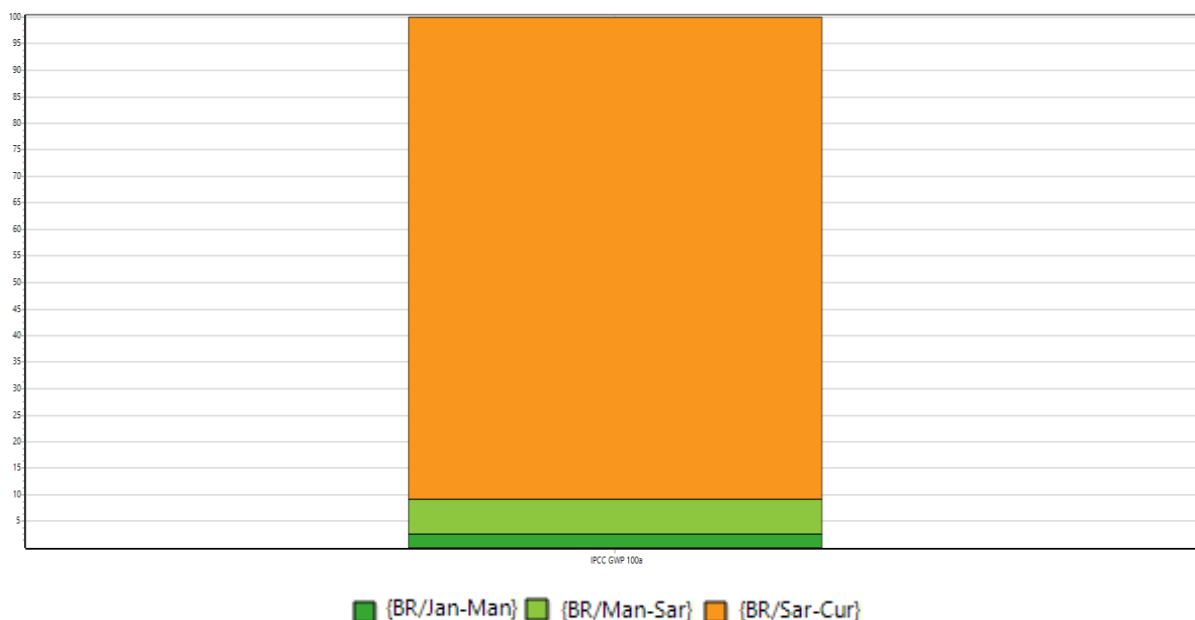
TABELA 16 – AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE ELETRÔNICOS DE JANDAIA DO SUL – 2019, CENÁRIO 2, MÉTODO IPCC

Categoria de impacto		Unidade	Total	Transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari	Transporte de Mandaguari à Sarandi	Transporte de Sarandi à Curitiba
IPCC GWP 100a		kg CO ₂ eq.*	72,38536	1,872045	4,717536	65,79578

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 20 - AICV DAS TRÊS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS DA COLETA DE ELETRÔNICOS DE JANDAIA DO SUL – 2019, CENÁRIO 2, MÉTODO IPCC



FONTE: Autor (2021)

TABELA 17 – AICV DO CENÁRIO 2, MÉTODO RECIPE

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari	Transporte de Mandaguari à Sarandi	Transporte de Sarandi à Curitiba
Aquecimento global (saúde humana)	DALY*	6,74E-05	1,74E-06	4,39E-06	6,12E-05
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	1,53E-08	3,95E-10	9,95E-10	1,39E-08
Radiação ionizante	DALY	5,56E-09	1,47E-10	3,65E-10	5,05E-09
Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	6,52E-07	1,68E-08	4,25E-08	5,93E-07
Formação de material particulado fino	DALY	9,54E-05	2,47E-06	6,22E-06	8,67E-05
Toxicidade humana cancerígena	DALY	7,63E-07	2,16E-08	5,13E-08	6,9E-07
Toxicidade humana não cancerígena	DALY	8,43E-06	2,2E-07	5,51E-07	7,66E-06
Consumo de água (saúde humana)	DALY	-1,7E-09	2,81E-11	-5E-11	-1,7E-09
Aquecimento global (ecossistema terrestre)	espécies.ano**	2,03E-07	5,26E-09	1,32E-08	1,85E-07
Aquecimento global (ecossistema aquático)	espécies.ano	5,55E-12	1,44E-13	3,62E-13	5,05E-12
Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	espécies.ano	9,32E-08	2,41E-09	6,07E-09	8,47E-08
Acidificação terrestre	espécies.ano	7,17E-08	1,85E-09	4,67E-09	6,52E-08
Eutrofização da água doce	espécies.ano	5,81E-10	1,65E-11	3,91E-11	5,26E-10
Eutrofização da água marinha	espécies.ano	1,48E-13	4,13E-15	9,93E-15	1,34E-13
Ecotoxicidade terrestre	espécies.ano	2,88E-08	7,43E-10	1,88E-09	2,62E-08
Ecotoxicidade água doce	espécies.ano	3,58E-10	9,62E-12	2,36E-11	3,25E-10
Ecotoxicidade água marinha	espécies.ano	2,09E-10	5,47E-12	1,37E-11	1,9E-10
Uso de terra	espécies.ano	1,14E-09	5,1E-11	9,3E-11	9,95E-10
Consumo de água (ecossistema terrestre)	espécies.ano	2,77E-10	7,63E-12	1,85E-11	2,51E-10
Consumo de água (ecossistema aquático)	espécies.ano	3,59E-13 0,00584	9,3E-15	2,34E-14	3,26E-13
Escassez de recurso mineral	\$***	1 10,6333	0,000171	0,000398	0,005272
Escassez de recurso fóssil	\$	8	0,275228	0,693201	9,66495

* DALY - *Disability Adjusted Life Years* - Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade

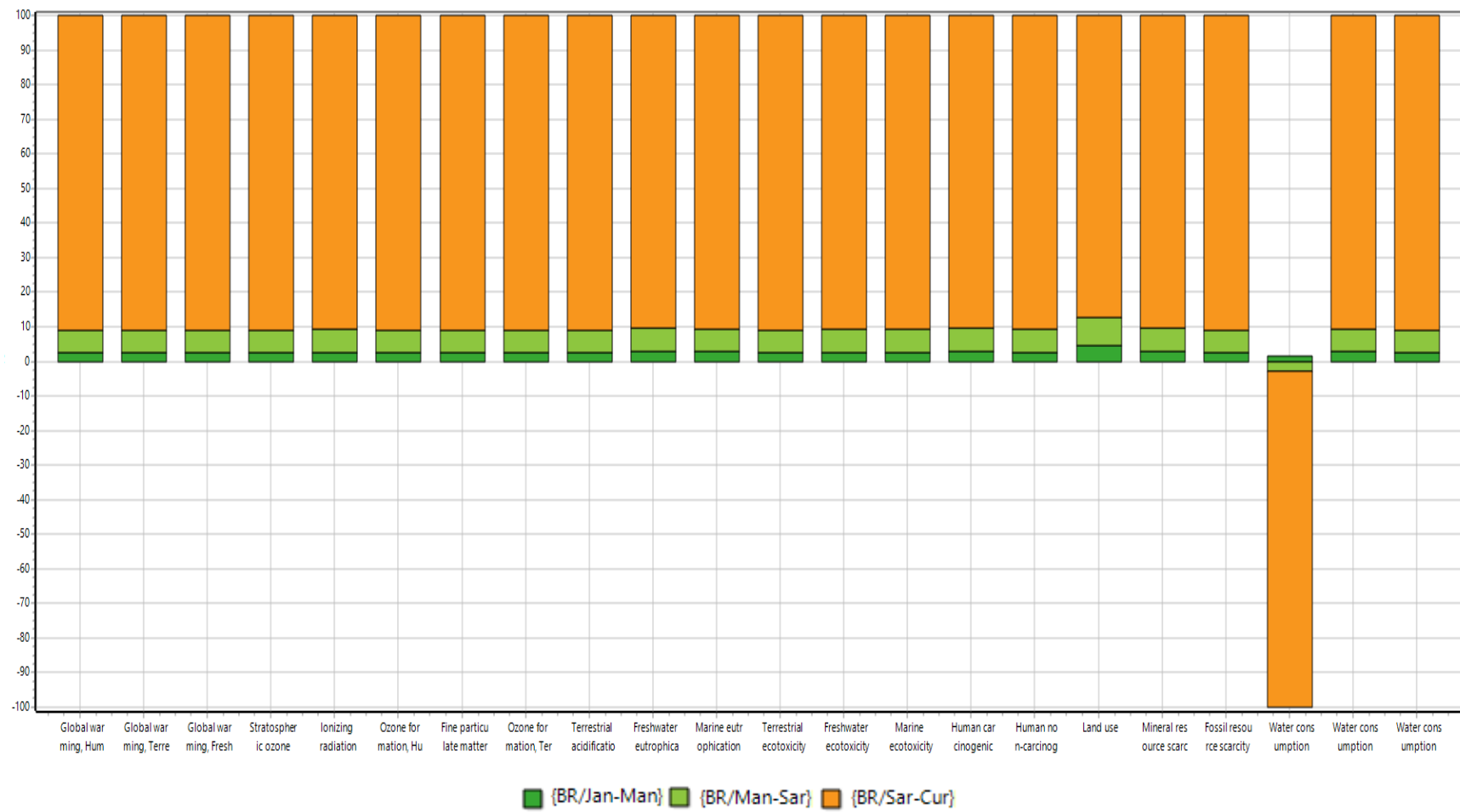
** Espécies.ano – Mortalidade espécies anos

*** (\$) USD – unidades de valor de recursos (em dólar)

FONTE: Autor (2021)

Os maiores impactos gerados a partir do transporte são: escassez de recurso fóssil, escassez de recurso mineral, formação de material particulado e aquecimento global, assim como no Cenário 1.

FIGURA 21 - AICV DO CENÁRIO 2, MÉTODO RECIPE



FONTE: Autor (2021)

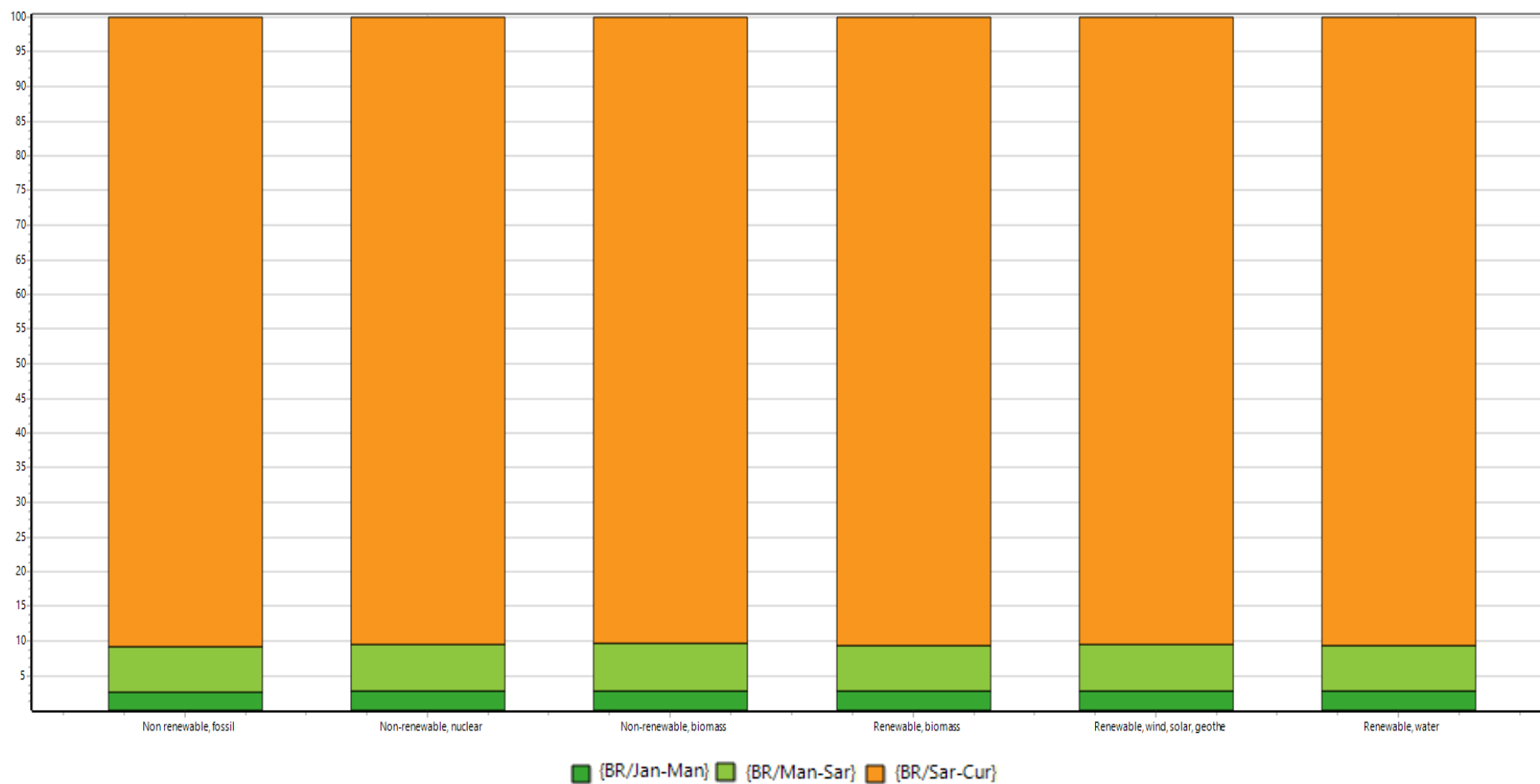
TABELA 18 – AICV DO CENÁRIO 2, MÉTODO DEA

Categoria de impacto	Unidade	Total	Transporte de Jandaia do Sul à Mandaguari	Transporte de Mandaguari à Sarandi	Transporte de Sarandi à Curitiba
Energia fóssil, não renovável	MJ*	1020,5	26,43803	66,54836	927,5136
Energia nuclear, não renovável	MJ	2,712182	0,076292	0,182123	2,453767
Energia da biomassa, não renovável	MJ	0,003215	9,2E-05	0,000217	0,002906
Energia da biomassa, renovável	MJ	0,725735	0,01988	0,048267	0,657588
Energia eólica, solar, geotérmica, renovável	MJ	0,293849	0,0083	0,019762	0,265787
Energia hídrica, renovável	MJ	1,78201	0,048937	0,118624	1,61445

* MJ - Megajoule

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 22 - AICV DO CENÁRIO 2 GRÁFICO, MÉTODO DEA



FONTE: Autor (2021)

4.3.3 Comparação dos cenários

A partir do método IPCC, é possível perceber que a coleta feita uma vez ao ano chega a um total de 61,1689 kg CO₂ eq, enquanto a coleta trimestral tem um total de 72,38536 kg CO₂ eq anuais. A coleta trimestral tem um aumento de 15,5% de emissões, um valor significativo. Também é possível visualizar essa diferença na FIGURA 23.

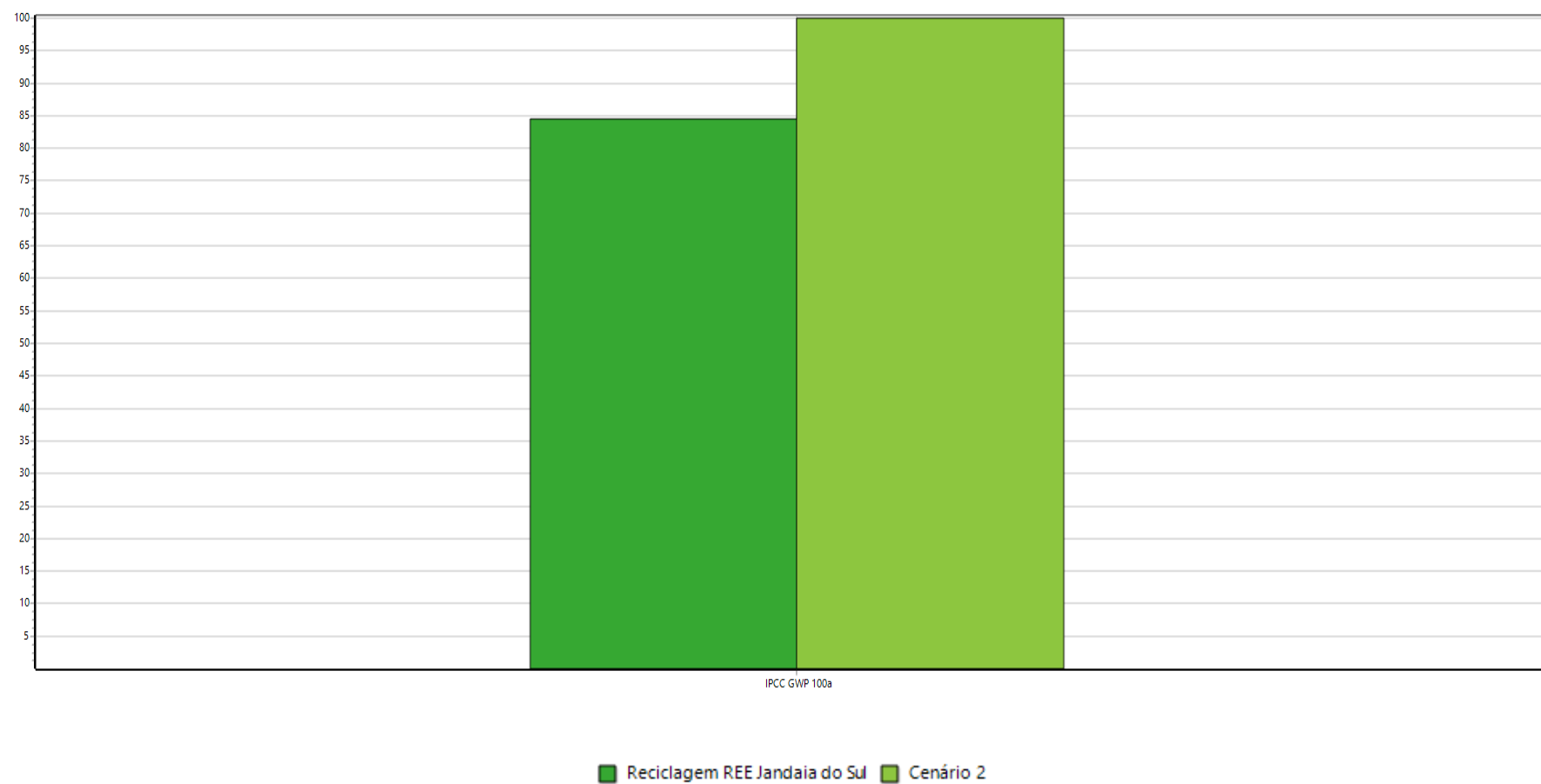
TABELA 19 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO IPCC

Categoria de impacto	Unidade	Cenário 1	Cenário 2
IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq.*	61,1689	72,38536

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 23 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO IPCC



FONTE: Autor (2021)

No método ReCiPe, é possível perceber que em todas as categorias de impacto, a coleta trimestral é a que possui mais emissões, principalmente levando em consideração as categorias que se relacionam com o solo e/ou atmosfera. Em relação aos impactos gerados, o Cenário 2 tem um aumento de aproximadamente 12%.

TABELA 20 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO RECIPE

Categoria de impacto (end-point)	Categoria de impacto	Unidade	Cenário 1	Cenário 2
Dano à saúde humana	Aquecimento global (saúde humana)	DALY*	5,69E-05	6,74E-05
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY	1,29E-08	1,53E-08
	Radiação ionizante	DALY	4,73E-09	5,56E-09
	Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	5,51E-07	6,52E-07
	Formação de material particulado fino	DALY	8,06E-05	9,54E-05
	Toxicidade humana cancerígena	DALY	6,64E-07	7,63E-07
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY	7,14E-06	8,43E-06
	Consumo de água (saúde humana)	DALY	-7,2E-10	-1,7E-09
Dano ao ecossistema	Aquecimento global (ecossistema terrestre)	espécies.ano**	1,72E-07	2,03E-07
	Aquecimento global (ecossistema aquático)	espécies.ano	4,69E-12	5,55E-12
	Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	espécies.ano	7,87E-08	9,32E-08
	Acidificação terrestre	espécies.ano	6,06E-08	7,17E-08
	Eutrofização da água doce	espécies.ano	5,06E-10	5,81E-10
	Eutrofização da água marinha	espécies.ano	1,28E-13	1,48E-13
	Ecotoxicidade terrestre	espécies.ano	2,43E-08	2,88E-08
	Ecotoxicidade água doce	espécies.ano	3,06E-10	3,58E-10
	Ecotoxicidade água marinha	espécies.ano	1,78E-10	2,09E-10
	Uso de terra	espécies.ano	1,18E-09	1,14E-09
	Consumo de água (ecossistema terrestre)	espécies.ano	2,39E-10	2,77E-10
	Consumo de água (ecossistema aquático)	espécies.ano	3,03E-13	3,59E-13
Dano aos recursos naturais	Escassez de recurso mineral	\$***	0,005138	0,005841
	Escassez de recurso fóssil	\$	8,987997	10,63338

* DALY - *Disability Adjusted Life Years* - Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade

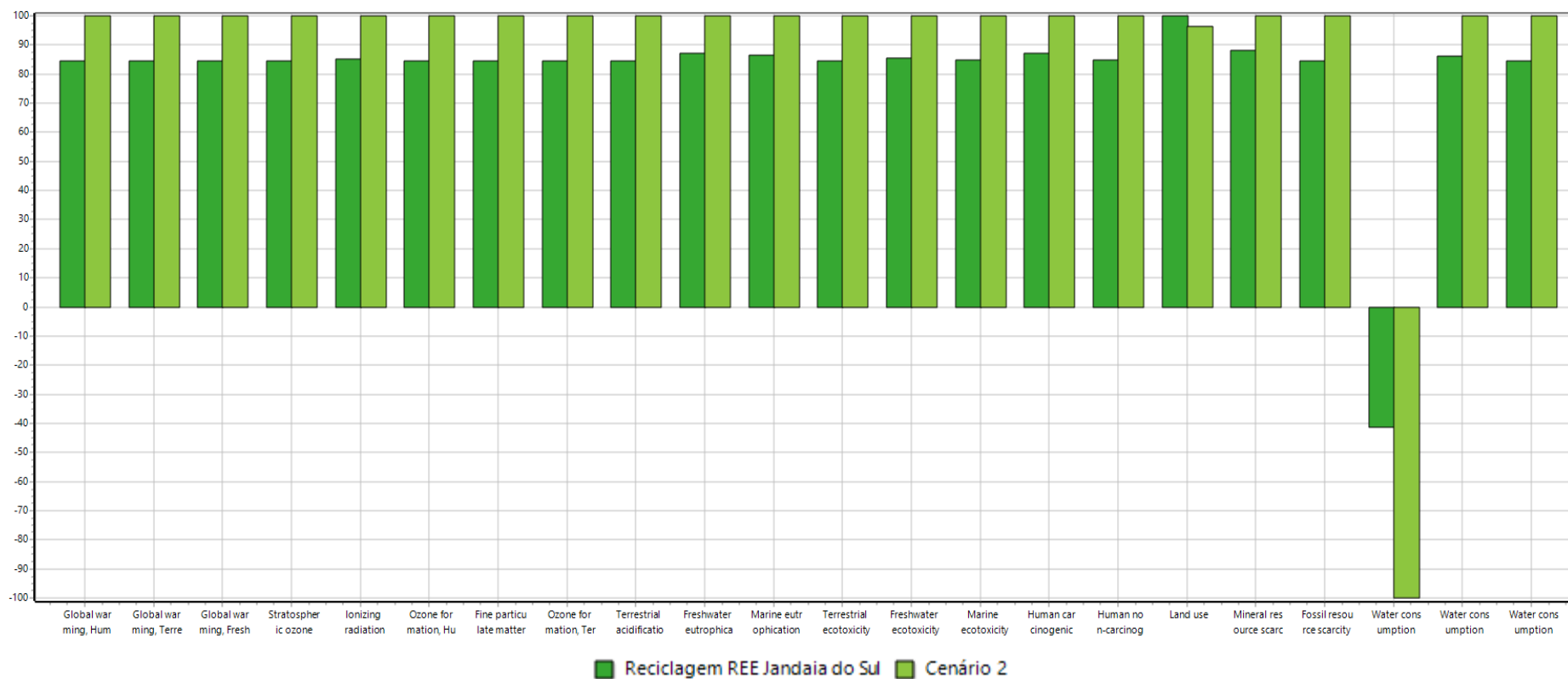
** Espécies.ano – Mortalidade espécies anos

*** (\$) USD – unidades de valor de recursos (em dólar)

FONTE: Autor (2021)

Assim como é possível visualizar na FIGURA 24:

FIGURA 24 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO RECIPE



FONTE: Autor (2021)

Na TABELA 21, no método DEA é possível perceber que o Cenário 1 precisa de menos energias. O tipo de energia mais utilizada é a energia fóssil não renovável, e o Cenário 2 utiliza aproximadamente 15,4% a mais de energia do que o cenário base. Inclusive nos dois cenários a demanda de energia nuclear é significativo, sendo extremamente prejudicial ao meio ambiente se considerado os resíduos gerados.

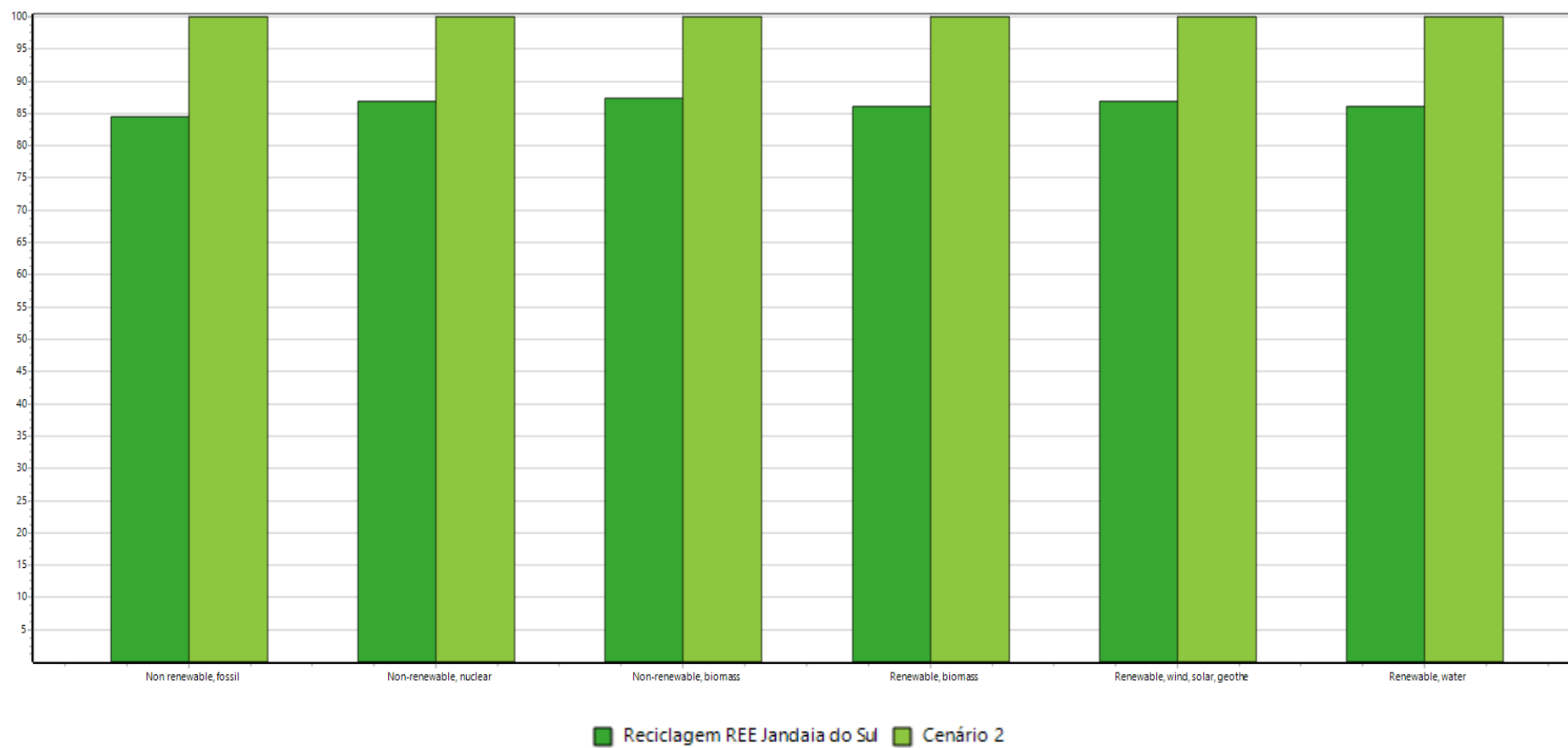
TABELA 21 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO DEA

Categoria de impacto	Unidade	Cenário 1	Cenário 2
Energia fóssil, não renovável	MJ*	862,8368	1020,5
Energia nuclear, não renovável	MJ	2,354983	2,712182
Energia da biomassa, não renovável	MJ	0,002807	0,003215
Energia da biomassa, renovável	MJ	0,624673	0,725735
Energia eólica, solar, geotérmica, renovável	MJ	0,2555	0,293849
Energia hídrica, renovável	MJ	1,535109	1,78201

* MJ - Megajoule

FONTE: Autor (2021)

FIGURA 25 - AICV DA COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2 – ANO 2019, MÉTODO CED



FONTE: Autor (2021)

4.3.4 Interpretação dos resultados

A reciclagem é, notoriamente, uma das melhores formas de se lidar com produtos que precisam de uma destinação após o uso. Mas com esse estudo percebe-se que a reciclagem também tem o seu impacto no meio ambiente, começando pelo seu transporte.

O maior impacto é o do transporte de Sarandi à Curitiba, por ser a maior distância. Pensando nisso, surge o pensamento de criar uma empresa que faça o mesmo processo de Curitiba, porém mais perto, para que o impacto seja menor. Porém, como discutido na Acaman, o processo realizado nessa última parte necessita de máquinas e processos mais avançados, que são mais complexos e difíceis de serem aplicados em pequenas empresas familiares, como é o caso. Além disso, depois de Curitiba, os eletroeletrônicos são transportados de navio para a Alemanha, motivo de essa empresa se encontrar mais perto de um porto. Consequentemente, independente de onde essas empresas se encontram, o transporte até o porto é necessário.

O Cenário 1 é uma situação em que a coleta foi realizada uma vez por ano, com uma quantidade menor de itens (supondo que a coleta seja anual, muitas pessoas descartarão itens de forma incorreta, e esses itens podem ir parar em lixões, rios, córregos, ou até mesmo queimados a céu aberto), tendo um impacto menor para a atmosfera. Já no cenário 2 a coleta é realizada quatro vezes no ano, com mais itens, porém com um impacto maior.

Visto isso, a coleta trimestral é uma opção válida, por diminuir o lixo eletrônico que muitas vezes é possível encontrar em locais que vão prejudicar a saúde humana, como já citado anteriormente. Se a empresa responsável pela última parte da reciclagem não se encontrasse tão longe de Sarandi, o impacto ambiental seria muito menor, já que a distância de Sarandi à Curitiba é a maior.

Em Jandaia do Sul, o PAS recolhe anualmente os eletroeletrônicos, o que poupa a prefeitura de ter que tomar medidas em relação a esses itens. Porém, em outras pequenas cidades do país, onde não existe um grupo que recolha esses itens, ou ações que instruem a população de como fazer o descarte correto, os eletroeletrônicos são descartados de maneira a prejudicar a própria população.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar e quantificar os impactos ambientais gerados a partir do transporte de eletroeletrônicos coletados em Jandaia do Sul pelo grupo Práticas Ambientais Sustentáveis da UFPR em 2019. Com as informações recolhidas, foi possível fazer a exploração das quantidades, de modo a posteriormente quantificar os impactos gerados pela reciclagem dos objetos recolhidos.

O fluxo de reciclagem dos REE em Jandaia do sul tem uma dinâmica de transporte em varias cidades: os REE coletados na cidade são enviados à Mandaguari, de lá para Sarandi, e posteriormente, para Curitiba para reciclagem. Foram utilizados três métodos de análise: IPCC, *ReCiPe* e Demanda de Energia Acumulada.

Os resultados demonstraram que o transporte dos eletroeletrônicos de Jandaia do Sul até a reciclagem em Curitiba gerou emissões de Gases de Efeito no valor total de 61,1689 kg CO₂ eq e demanda energética significativa em energia fóssil e energia nuclear. Esses dados quantitativos de impactos ambientais ao meio ambiente devem ser considerados ao se avaliar todo ciclo de vida de um processo de reciclagem de eletroeletrônicos.

Na avaliação do impacto, método *ReCiPe*, os resultados identificaram que o transporte dos eletroeletrônicos em Jandaia do Sul tem maior relevância as categorias: consumo de recursos fósseis e recursos mineração; aquecimento global e formação de ozônio para os ecossistemas; aquecimento global para saúde humana e emissão de material particulado para o ar. Todas essas categorias de impacto são por consequência das rotas de transportes percorrida para a reciclagem.

Com esse estudo, foi possível verificar que, em dois cenários, sendo eles: um cenário com a coleta sendo realizada uma vez por ano; e outro, com a coleta sendo realizada trimestralmente. Os impactos ambientais gerados no transporte trimestral são superiores ao da coleta anual nos três métodos, porém, a coleta trimestral diminui o descarte incorreto dos eletroeletrônicos por parte da população.

O inventário de ciclo de vida do transporte dos REE poderão ser unidos a outros estudo de ACV para que haja um refinamento das análises, contribuindo para

uma melhor noção dos impactos gerados em todo o ciclo de vida dos equipamentos eletroeletrônicos .

O estudo foi limitado pela situação em que o mundo se encontra, paralisado pela COVID-19, já que inicialmente todo o processo de reciclagem seria analisado, desde a pré-reciclagem até a reciclagem final. No entanto, devido à pandemia, as visitas técnicas foram limitadas e, consequentemente, também a pesquisa. Dessa forma, estudos futuros podem fechar avaliar todo o ciclo de vida da reciclagem de REE e aumentar ainda mais os conhecimentos acerca dessa área.

REFERÊNCIAS

- ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Disponível em: < <https://www.abdi.com.br/>>. Acesso em: ago. 2020.
- ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Disponível em: < <http://www.abinee.org.br/>>. Acesso em: ago. 2020.
- ALCARAZ, Maria L. et al. Streamlined life cycle assessment: a case study on tablets and integrated circuits. In: **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 200, p. 819-826, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.273>.
- ANDERSEN, Otto et al. **Life Cycle Assessment os Eletronics**. Estocolmo: Huawei Technologies Sweden AB, 2014.
- ANDRADE, Selma et al. O estudo de caso como método de pesquisa em enfermagem: uma revisão integrativa. In: **Texto & Contexto - Enfermagem**, Florianópolis, v. 26, n. 4, p. 2-9, 17 nov. 2017. Disponível em https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-07072017000400308&lng=pt&tlng=pt. Acesso em ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-07072017005360016>.
- ANSEMA, E. Energy requirements of thin-film solar cell modules. In: **A review. Renewable Sustainable Energy Ver. 2** (4) 387– 415. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO14040**: gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. Porto Alegre: Boojman, 2002.
- BALAT, M. Usage of energy sources and environmental problems. In: **Energy Exploraton & Exploitation**, v. 23, n. 2, p. 141-168, 2005.
- BALDÉ, C.P., FORTI V., GRAY, V., KUEHR, R., STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor – 2017**. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.
- Barbieri, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos** (2a ed.). São Paulo: Saraiva, 2007.
- BARDELLINE, J. Transparency, regulations drive LCA popularity. **Greenbizz**, 17 May 2011. Disponível em <https://www.greenbiz.com/article/transparency-regulations-drive-lca-popularity>. Acesso em: ago. 2020.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. **The hitch hiker's guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application**. Londres: Student Litteratur, 2004.

BLENGINI, G. A. et al. Life Cycle Assessment guidelines for the sustainable production and recycling of aggregates: The Sustainable Aggregates Resource Management project (SARMa). In: **Journal of Cleaner Production**, 27, 177-181, may 2012. Disponível em <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84857446181&origin=inward&txGid=dc1a20809926d8b474fb43458fe4529a>. Acesso em: ago. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.020>

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de ago. 2010.

CAGNIN, C. H. **Fatores relevantes na implementação de um sistema de gestão ambiental com base na Norma ISO 14001**. 2.000. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78894>. Acesso em: ago. 2020.

CAMPOLINA, J. M.; Sigrist, C. S. L.; Moris, V. A. S. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida: a review of literature on software used in studies of life cycle. In: **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Sorocaba, v. 19, n. 2, p. 735-748, ago. 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/15494>. Acesso em: ago. 2020. <https://doi.org/10.5902/2236117015494>

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997. 120 p.

CMU – CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. **EIO-LCA: free, fast, easy life cycle assessment**. Pittsburgh: CMU, 2015. Disponível em: <http://www.eiolca.net/>. Acesso em: ago. 2020.

COELHO FILHO, Osmar et al. IPEA. **A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil**. Brasília, 2016.

COELHO, L. C. **O poder da embalagem na logística reversa**. 2011. Disponível em: <https://www.logisticadescomplicada.com/o-poder-da-embalagem-na-logistica/#:~:text=A%20embalagem%20de%20um%20produto,a%20embalagem%20ajuda%20neste%20processo>. Acesso em: ago. 2020.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986, publicado no D. O U. de 17.2.86**.

CURRAN, M. A. Report on Activity of Task Force 1 in the Life Cycle Inventory Programme: Data Registry – Global Life Cycle Inventory Data Resources. In: **International Journal Life Cycle Assessment**, v. 11, nº 4, p. 284 – 289, 2006.

DINCER, Ibrahim. Energy and Environmental Impacts: present and future perspectives. In: **Energy Sources**, [S.L.], v. 20, n. 4-5, p. 427-453, maio 1998. Informa UK Limited. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00908319808970070>. Acesso em: ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.1080/00908319808970070>.

DINCER, I; ROSEN, M. A. **Energy, environment and sustainable development. Applied Energy**, v. 64, p. 427-440, 1999. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeeappene/v_3a64_3ay_3a1999_3ai_3a1-4_3ap_3a427-440.htm. Acesso em ago. 2020.

DURÃO, V. L. C. **Análise comparativa de sistemas centralizados e descentralizados de valorização de chorumes de suinoculturas, utilizando o software Umberto**. 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2009. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/1968/1/Durao_2009.pdf. Acesso em: ago. 2020.

EUROPEAN COMMISSION. (2010) **ILCD Handbook**: international reference life cycle data system: general guide for life cycle assessment. Luxemburgo: Publications Office of the European Union. 417p.

FERREIRA, Dérick da Costa; SILVA, Josivan Bezerra da; GALDINO, Jean Carlos da Silva. RECICLAGEM DE LIXO ELETRÔNICO. **Holos**, [S.L.], v. 5, p. 105-111, 11 mar. 2011. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2010.559>.

FUKUROZAKI S. H. **Avaliação do Ciclo de Vida de Potenciais Rotas de Produção de Hidrogênio**: Estudos dos Sistemas de Gaseificação da Biomassa e de Energia Solar Fotovoltaica. Tese de Doutorado, IPEN – Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. 2011.

GARCIA, E. E. C. et al. – “**Análise de ciclo de vida de embalagens para o mercado brasileiro**”. Relatório Final Confidencial do Projeto FAPESP, 1999.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1985.

GOEDKOOOP, et al. **ReCiPe 2008**: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation. Ruimte in Milieu Ministerie van Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Jan. 2009.

GOLDENBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 2ª ed. revisada. Tradução de André Koch. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

HAAL C. A. S.; CLEVELAND C. J.; KAUFMANN R. K. Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process, In: **Wiley Interscience**, New York. 1986.

IFIAS (International Federation of Institutes for Advanced Studies). In: **Report on the Workshop on Energy Analysis and Economics**. Lindigoes, Suécia, Junho de 1975. Resources and Energy (1) 151-204. 1978

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook**. Paris: IEA, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics**. Paris: IEA, 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/index.htm>. Acesso em: 06 set. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/main.html>. Acesso em: set. 2020.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. In: **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 25, n. 71, p. 135-158, abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142011000100010>.

KEOLEIAN G; LEWIS G. Application of life-cycle energy analysis to photovoltaic module design. In: **Prog. Photovoltaics**, 5(4):287–300. 1997.

KLÖPFFER W.: In Defense of the Cumulative Energy Demand (Editorial). In: **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2/2 (61). 1997.

Kraemer, M. E. P. (2002). **Contabilidade Ambiental: Relatório para um Futuro Sustentável, Responsável e Transparente**. Recuperado em 14 de dezembro, 2010, de http://www.universoambiental.com.br/Contabilidade/Contabilidade_FuturoSust.html

Kitzmann, D. I. S. Ambientalização sistêmica na gestão e na educação ambiental: um estudo de caso com o ensino profissional marítimo – EPM 2009. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, RS, 2009. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/2819>. Acesso em: ago. 2020.

LEGIFRANCE. LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 – Article 228: **portant l'engagement national pour l'environnement**. Disponível em: http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=5CC932075C1106B897A7CBA83C508092.tpdjo11v_1?idArticle=JORFARTI000022471699&cidTexte=JORFTEXT000022470434&dateTexte=29990101&categorieLien=id>. Acesso em: ago. 2020.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. Revista de administração Mackenzie. V.12 n.3 São Paulo. Ed. Especial. Maio/jun 2011. Disponível em:

<https://administradores.com.br/artigos/logistica-reversa-solucao-ambiental-social-e-economica>. Acesso em: ago. 2020.

LOVÓN-CANCHUMANI, Giancarlo Alfonso et al. **Avaliação Do Ciclo de Vida na Mineração**: estudos da produção de minério de ferro. Rio de Janeiro: CETEM/MCI, 2015. 89 p.

MACEDO, R. K. De. **Gestão Ambiental - Os Instrumentos Básicos para a Gestão Ambiental de Territórios e de Unidades Produtivas**. ABES: AIDIS. Rio de Janeiro, 1994.

MALAGUTI, C. **Requisitos ambientais para o desenvolvimento de produtos**: manual técnico. São Paulo: CSPD, 2005. 76.

MIRANDA, M. M. (2012). **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5345637/mod_resource/content/1/nuclear%20-%20ler%20somente%20parte%20inicial%20e%20de%20metodologia%20e%20as%20p%C3%A1gs.%2064-66%20e%2081-85.pdf. Acesso em: set. 2020.

Ministério do Meio Ambiente celebra acordo setorial de eletroeletrônicos. 31 de outubro de 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/15652-minist%C3%A9rio-do-meio-ambiente-celebra-acordo-setorial-de-eletroeletr%C3%B4nicos.html> Acesso em: ago. 2020.

MOURA, L. A. A. **Qualidade e Gestão Ambiental: sugestões para a implantação nas normas ISO 14000 nas empresas**. 2ª edição. Editora Juarez de Oliveira. São Paulo – SP, 2000.

OLIVEIRA, P. M.; CASTRO, C. G.; SAFAR, G. H. **Softwares utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Uma abordagem analítica**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 14., 2007. Anais... 2007, p.1-9

PRADHAN A. et al. **Energy Life-Cycle Assessment of Soybean Biodiesel**. United States Department of Agriculture, USDA. 2009.

QUINTANA, Alexandre Costa; MACHADO, Débora Gomes; AMARAL, Cybele Troina do; QUINTANA, Cristiane Gularte. **GESTÃO AMBIENTAL: produção científica divulgada em periódicos qualis - capes**. In: **Review Of Administration And Innovation - Rai**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 07-24, 2 jul. 2014. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

RUBIO, Sergio; CHAMORRO, Antonio; MIRANDA, Francisco J. Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005). In: **International Journal Of Production Research**, [S.L.], v. 46, n. 4, p. 1099-1120, 15 fev. 2008. Informa UK Limited. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540600943977>. Acesso em: ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540600943977>.

SAAP – Associação dos Amigos do Alto Pinheiro. Disponível em: <http://www.saap.org.br/sem-categoria/campanha-da-saap-troca-lixo-eletronico-por-mudas-de-planta/>. Acesso em: jul. 2020.

SCHELLING, T. C. Global environmental forces. In: **HELM, J. L. (Ed.) Energy production, consumption, and consequences**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1990. p. 75-84.

SEO, E.S.M., KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão. InterfacEHS. In: **Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente**, 2006. Disponível em: <http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/421/358>. Acesso em: ago. 2020.

SIQUEIRA, Valdilene S. et al. Gestão e descarte de resíduos eletrônicos em Belo Horizonte: algumas considerações. In: **Caminhos da Geografia.**, Uberlândia, v. 13, n. 43, p. 174-187, out. 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16704>. Acesso em: ago. 2020.

SPOSTO, R. & PAULSEN, J. (2014) Energia incorporada em habitações de interesse social na fase de pré-uso: o caso do programa Minha Casa Minha Vida no Brasil. In: **Oculum Ensaios**, v. 11, n. 1, p. 39-50.

TESTER, J. W. et. al. **Sustainable Energy: Choosing Among Options**. USA: MIT Press, 2005.

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change** (UNFCCC). 1992. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Acesso em: 06 set. 2020.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **LCA Resources**. Disponível em: <https://www.epa.gov/>. Acesso em: ago. 2020.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo: Pioneira, 1995.

VIGON, B. W.; JENSEN, A. A. Life cycle assessment: data quality and databases practitioner survey. In: **Journal of Cleaner Production**, v. 3, n° 3, p. 135-141, 1995. Disponível em: https://www.academia.edu/20696236/Life_cycle_assessment_data_quality_and_data_bases_practitioner_survey. Acesso em ago. 2020

WANG, Q. Environmental impact analysis and process optimization of batteries based on life cycle assessment. In: **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 174, p. 1262-1273, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.059>

XAVIER, Lúcia Helena; CORRÊA, Henrique Luiz. **Sistemas de Logística Reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis**. São Paulo: Atlas, 2013.

XAVIER, L. H., et al. **Guia de desmontagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos**. Rio de Janeiro: CETEM, 2020.

XU, L. et al. Assessment of a dry and a wet route for the production of biofuels from microalgae: Energy balance analysis. In: **Biores. Tech.**, 102: 5113-22. 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4^a ed. Porto Alegre (RS): Bookman, 2010.

ZANATTA, Paula. GESTÃO AMBIENTAL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. In: **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 296-309, 9 nov. 2017. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v6e32017296-312>.