



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS DE PALMAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**CASSIUS FERREIRA GARIGLIO**

**PROJETO DE UM CENTRO TECNOLÓGICO E EFICIENTE EM  
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

**PALMAS –TO, 2022**

**CASSIUS FERREIRA GARIGLIO**

**PROJETO DE UM CENTRO TECNOLÓGICO E EFICIENTE EM  
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador (a): Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra

**PALMAS -TO, 2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

G232p Gariglio, Cassius Ferreira.  
Projeto de um centro tecnológico e eficiente em gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos. / Cassius Ferreira Gariglio. – Palmas, TO, 2022.  
55 f.  
Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2022.  
Orientador: Juan Carlos Valdés Serra  
1. Logística Reversa. 2. Eletroeletrônicos. 3. Gerenciamento de Resíduos. 4. Reciclagem. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

CASSIUS FERREIRA GARIGLIO

## PROJETO DE UM CENTRO TECNOLÓGICO E EFICIENTE EM GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação:31/10 /2022

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** JUAN CARLOS VALDES SERRA  
Data: 08/12/2022 15:214-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra, (Presidente) - UFT

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** AURELIO PESSOA PICANÇO  
Data: 09/12/2022 10:55:31-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço, (Membro Interno) - UFT

---

Profa Dra. Thaysi Castro Coelho Andrade, (Membro Externo) Unitins

**PALMAS – TO, 2022**



Documento foi assinado digitalmente por THAYSI CASTRO COELHO DE ANDRADE em 12/12/2022 09:01:02.

A autenticidade deste documento pode ser verificada no site <https://sgd-ati.to.gov.br/verificador>, informando o código verificador: F9C2A13E012B319D.

## RESUMO

O acelerado avanço tecnológico, associado ao aumento do consumo de equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos, impulsiona a geração de resíduos e o seu descarte incorreto. Isso acarreta impactos ao meio ambiente e à saúde humana, devido à composição de componentes químicos perigosos nesses equipamentos, demandando alternativas eficientes de gerenciamento. Assim, o presente trabalho buscou elaborar um projeto para um Centro de Gerenciamento de Resíduos Eletroeletrônicos, contendo a descrição dos processos de coleta, recebimento, triagem e processamento, para o Estado do Tocantins. Para tanto, realizou-se pesquisas bibliográficas e exploratórias, contemplando a estimativa de geração de Resíduo Eletroeletrônico (REEE) no Tocantins, legislações e normas pertinentes, bem como modelos de gerenciamento e tecnologias aplicáveis. A alternativa tecnológica adotada para o processamento dos resíduos foi o processo, o qual possibilita a extração de componentes nobres por meio de reações químicas de dissolução em meio aquoso. Para retornarem ao ciclo produtivo, os REEEs podem passar por alternativas de reutilização ou reciclagem. Nesse contexto, é importante a implementação de instrumentos de gestão como a logística reversa. Entretanto, observou-se que processos de reciclagem e mineração urbana dissociados da Logística Reversa institucional mostram-se mais rentáveis, visto que o padrão monetário adotado pela entidade gestora compromete a viabilidade econômica de iniciativas privadas. Diante do exposto, evidenciou-se a necessidade de integrar as esferas econômica, social e ambiental, com eficiência gerencial para contemplar todos os ciclos da cadeia da logística reversa, atendendo aos preceitos legais e viabilizando a implantação do Centro de Gerenciamento no Estado do Tocantins.

**Palavras-chave:** Eletroeletrônico. Logística Reversa. Gerenciamento. Reciclagem.

## ABSTRACT

The accelerated technological advancement associated with the increased consumption of electro-electronic equipment and appliances drive the generation of waste and its incorrect disposal causes impacts to the environment and human health because it contains hazardous chemical components, demanding efficient management alternatives. Thus, the present work sought to elaborate a project for an Electrical and Electronic Waste Management Center, containing the description of the collection, reception, sorting, and processing processes for the State of Tocantins. To this end, bibliographic and exploratory research was conducted, contemplating the estimated generation of WEEE in Tocantins, pertinent legislation and standards, as well as management models and applicable technologies. The technological alternative for processing the waste adopted was the process, which enables the extraction of noble components through chemical dissolution reactions in aqueous media. To return to the productive cycle, the WEEE can go through reuse or recycling alternatives. In this context, the implementation of management tools such as reverse logistics is important. However, it was observed that recycling and urban mining processes dissociated from the institutional Reverse Logistics proves to be more profitable, since the monetary standard adopted by the management entity compromises the economic viability of private initiatives. As stated, evidenced the need to integrate the economic, social and environmental spheres, with managerial efficiency to contemplate all cycles of the reverse logistics chain, meeting the legal precepts and enabling the implementation of the Management Center in the State of Tocantins.

**Keywords:** Electro-electronics. Reverse Logistics. Management. Recycling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Atividades típicas do processo logístico .....	21
<b>Figura 2</b> - Cronologia dos acordos setoriais.....	22
<b>Figura 3</b> - Etapas sequenciais dos procedimentos metodológicos .....	24
<b>Figura 4</b> - Descrição das etapas .....	26
<b>Figura 5</b> - Coleta de REEE – Linha verde.....	29
<b>Figura 6</b> - Imagens sobre o procedimento de extrusão dos componentes .....	30
<b>Figura 7</b> - Fluxograma simplificado do processo hidrometalúrgico.....	31
<b>Figura 8</b> - Distribuição dos PEVs na cidade de Palmas-TO .....	33
<b>Figura 9</b> - Fachada do Centro de Gerenciamento .....	42
<b>Figura 10</b> - Vista aérea .....	42
<b>Figura 11</b> - Galpão - Setor de Triagem .....	43
<b>Figura 12</b> - Maquinário para extrusão dos resíduos .....	43
<b>Figura 13</b> - Tanques para processos hidrometalúrgicos de extração de componentes dos REEEs .....	44
<b>Quadro 1</b> - Produtos abrangidos pelo REEE .....	15
<b>Quadro 2</b> - Descrição dos itens industriais .....	37
<b>Quadro 3</b> - Custos estimados para maquinários industriais .....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estimativa da geração de resíduos de equipamentos eletrônicos, por área-programa .....	27
<b>Tabela 2</b> - Orçamento de custos para execução da obra .....	35

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Distribuição da estimativa percentual de geração de REEE no Tocantins .....	28
<b>Gráfico 2</b> - Cenários para o custo operacional do sistema .....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABRADISTI	Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação
ABREE	Associação Brasileira de Recicladores de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos
ASSESPRO	Federação das Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CUB	Custo Unitário Básico
EEE	Equipamento Eletroeletrônico
GREEN ELETRON	Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional
HNO	Ácido nítrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPEV	Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Placa de Circuito Impresso
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
PMGIRS	Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVG	Planta de Valores Genéricos
REEE	Resíduo eletroeletrônico
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SINAP	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Resíduos de Equipamentos de Eletroeletrônicos (REEEs).....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Categoria dos Resíduos Eletroeletrônicos.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Legislação e normas de Resíduos Sólidos.....</b>	<b>16</b>
3.3.1	Decreto Nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020.....	18
3.3.2	Panorama dos resíduos sólidos no Estado do Tocantins.....	19
<b>3.4</b>	<b>Logística Reversa.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Acordo Setorial da Logística Reversa de REEE.....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Procedimentos metodológicos.....</b>	<b>23</b>
4.1.1	Quantificação do volume de Resíduos Eletroeletrônicos gerados no Tocantins..	24
4.1.2	Verificação da aplicabilidade do Acordo Setorial referente à Logística Reversa de REEE.....	24
4.1.3	Avaliação da viabilidade das tecnologias disponíveis para reciclagem de REEE.....	25
4.1.4	Elaboração e proposição do projeto do protótipo do Centro Gerencial a ser implantado.....	25
<b>4.2</b>	<b>Procedimentos da metodologia para gerenciamento de REEE.....</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Estimativa de geração de volume de Resíduos Eletroeletrônicos (REEEs) no Estado do Tocantins.....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Procedimentos de coleta, triagem e separação.....</b>	<b>29</b>
<b>6.1</b>	<b>Descrição dos procedimentos de trituração e extrusão dos materiais.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>Alternativas tecnológicas e processos para reciclagem dos REEES.....</b>	<b>30</b>
6.2.1	Tecnologias e processos hidrometalúrgicos.....	30
6.2.2	Processos mecânicos de processamento de REEE.....	31
<b>6.3</b>	<b>Custo operacional.....</b>	<b>32</b>
6.3.1	Recebimento.....	33

6.3.2 Transporte.....	34
6.3.3 Triagem.....	34
6.3.4 Processamento.....	34
<b>6.4 Investimentos para implantação.....</b>	<b>35</b>
6.4.1 Orçamento de custos para execução da obra.....	35
6.4.2 Equipamentos, maquinários e demais itens industriais.....	37
6.4.3 Receita.....	41
<b>6.5 Proposição do protótipo do Centro de Gerenciamento.....</b>	<b>41</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescente desenvolvimento econômico mundial e consequente aumento do poder de compra da população, o consumo de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEEs) intensificou-se. A contínua inovação tecnológica e redução nos custos fomentaram o acesso à tecnologia e aos equipamentos eletroeletrônicos, resultando em benefícios. Contudo, o aumento crescente no uso destes produtos representa, como potencial consequência, a geração de um volume considerável de resíduos eletroeletrônicos (REEEs) que, em sua grande maioria, não recebem destinação final adequada (PACE, 2019).

No Brasil, o crescimento do poder de compra da população impulsionou o consumismo da sociedade, sobretudo a obtenção dos novos eletroeletrônicos. A cultura do consumismo é apontada como fator principal na geração dos resíduos eletroeletrônicos na sociedade (MELLO; MAYER; COSTA, 2016).

A categoria de resíduos sólidos perigosos que mais cresce no mundo é a de REEE. Para enfrentar o problema é necessária a colaboração internacional, incentivos econômicos que protejam o trabalho e abordagens de gestão que minimizem os impactos sobre o meio ambiente e a saúde humana (AWASTHI *et al.*, 2019).

O ciclo de vida dos equipamentos eletroeletrônicos compreende as fases de concepção, definição, produção, operação e obsolescência ao longo de sua vida útil, na qual a logística reversa tem como finalidade encerrar esse ciclo, incentivando a reciclagem do produto, retornando-o ao ciclo produtivo e conduzindo os rejeitos de forma correta (FILHO *et al.*, 2015).

O consumo de produtos eletroeletrônicos possui um ciclo bastante curto devido às constantes mudanças de tendências de compra ou do padrão de consumo, diminuindo o período de uso e resultando na elevação da taxa de descarte de resíduos eletroeletrônicos. Em contrapartida, os níveis de reciclagem registrados globalmente ainda são baixos, alcançando somente 20%, em média (PACE, 2019).

Segundo o estudo de Baldé *et al.* (2017), elaborado pela Organização das Nações Unidas (ONU), em decorrência da evolução tecnológica foram gerados 53,6 Mt (7,3 kg *per capita*) de REEE em 2019, no entanto, apenas 17,4% foram reciclados corretamente, e 82,6% dos REEEs gerados tiveram destinos desconhecidos. O Brasil é o segundo país que mais produz REEE das Américas

(2,14 Mt/ano e 10,2 kg/habitante), atrás apenas dos EUA (6,9 Mt/ano e 21 kg/habitante) (FORTI *et al.*, 2020).

Um dos maiores problemas que atingem a sociedade atualmente é o descarte incorreto dos resíduos no meio ambiente. A rapidez com que os avanços tecnológicos vêm sendo promovidos tornou possível o uso no cotidiano do equipamento eletroeletrônico, quanto mais produtos novos são produzidos, mais crescente é o mercado do consumo, o que acarreta no aumento de REEEs que serão descartados (FERREIRA; SILVA; GALDINO, 2010).

Conforme Lima *et al.* (2015), o descarte inadequado causa sérios problemas ambientais nos lixões e aterros sanitários, não somente pela porção desses resíduos lançados, como também pelo fato desses produtos incluírem, em sua composição, materiais como plástico, vidro e metal que perduram por muito tempo na natureza.

Por outro lado, os resíduos eletroeletrônicos descartados de forma correta geram empregos e renda para os recicladores que se dedicam a isto, por possuírem grande valor comercial devido sua composição envolver metais metálicos. Por outro lado, o descarte de forma inadequada gera um problema relevante, pois esses resíduos possuem componentes altamente tóxicos e prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente tais como os metais pesados: chumbo, arsênio, cádmio, mercúrio, zinco, entre outros (CELINSKI *et al.*, 2011).

Os REEEs são compostos por diversos materiais, como vidros, componentes eletrônicos, plásticos e mais de vinte tipos de metais pesados. Alguns equipamentos recebem jatos de substância química por procedimentos específicos com o intuito de proteção contra corrosão ou retardamento de chamas. A remoção de cada um requer um procedimento diferenciado. Portanto, sua separação para processamento e eventual reciclagem tem custo e impacto mais elevados do que outros resíduos recicláveis (ABDI, 2013).

Nesse sentido, a logística reversa está instituída na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e ressalta a importância de garantir o descarte ambientalmente correto. Com um conjunto de ações e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos seus resíduos sólidos, conforme descrito em seu artigo 3º, Item XII, a logística reversa consiste em um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou

outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2020).

O pós-consumo dos produtos evidencia a importância da logística reversa para reinserção dos materiais contidos nos REEEs aos ciclos produtores, representando uma forma mais eficaz no descarte dos equipamentos eletroeletrônicos. É de fundamental importância conhecer o perfil regional estadual, para implantar uma política de coleta de resíduos eletroeletrônicos em parceria com os comerciantes que implantam o sistema da logística reversa (BRIDA, 2019).

O Acordo Setorial para a Logística Reversa de produtos eletroeletrônicos foi firmado em 2019, a fim de complementar a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, tendo sido elaborado por entidades representantes do setor de eletroeletrônicos. O acordo setorial para eletroeletrônicos instituiu metas aos fabricantes, comerciantes e distribuidores, visando à estruturação, implementação e operacionalização de Sistema de Logística Reversa de Produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico introduzidos no mercado interno (MARTINS, 2021).

Segundo Afonso (2014), o mundo globalizado traz consigo uma busca frenética por informações e a interação com novas tecnologias o que exerce um encanto irresistível à população. Existem dois aspectos que trazem grande preocupação à ONU em relação aos eletroeletrônicos: as vendas crescentes, em especial nos mercados emergentes, o que inclui o Brasil, e a presença de metais pesados, substâncias tóxicas em alguns componentes, oferecendo risco à saúde e aos recursos naturais, caso não destinados corretamente após a vida útil.

Para Watanabe e Candiani (2019), é essencial garantir que o REEE não cause problema ao meio ambiente, como poluição e contaminação do solo, rios e dos lençóis freáticos. Por isso, é importante que seu descarte seja feito de forma correta. Todo material eletrônico pode ser reciclado e reaproveitado através de empresas e cooperativas que recolhem e separam o material, processam a retirada das peças e metais preciosos e, posteriormente, as enviam para a indústria de transformação.

O presente estudo justifica-se pela relevância da implementação de processos de gerenciamento sistematizado de REEE, contemplando todo o ciclo do produto, desde sua geração até destinação final. Ademais, a reciclagem desses resíduos e a reinserção dos materiais nos processos produtivos representam uma medida bastante promissora na proteção dos recursos naturais, bem como na geração de renda.

Os impactos provocados pela destinação e disposição inadequadas de resíduos eletroeletrônicos podem comprometer grandes áreas, podendo prejudicar a qualidade dos recursos naturais da região. Diante disso, o REEE é conceituado como um problema ambiental significativo (TANAUE *et al.*, 2015). As substâncias químicas presentes nos componentes dos REEEs podem ocasionar inúmeros riscos e consequências à saúde humana e animal até a contaminação dos solos, rios e lençóis freáticos.

A mineração urbana é um fator determinante para que os materiais eletrônicos que compõem o REEE sejam recuperados. Entende-se por mineração urbana um composto de atividades que têm como fonte de matéria-prima os resíduos, cuja finalidade é a separação, recuperação e reinserção dos materiais recicláveis em ciclos produtivos (XAVIER; CARVALHO, 2014).

Assim, o estudo busca desenvolver um modelo de um centro de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos, detalhando as etapas da logística reversa e processamento para equipamentos eletroeletrônicos com experiências atuais e modernas, de modo que se obtenha a eficiência gerencial dos processos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Elaborar um projeto para um Centro Tecnológico de Gerenciamento de Resíduos Eletroeletrônicos, contendo a descrição dos processos de coleta, recebimento, triagem, processamento e destinação final para o Estado do Tocantins.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Levantar o quantitativo de volume dos resíduos eletroeletrônicos (REEEs) gerados no Estado do Tocantins, com foco em Palmas;
2. Verificar a aplicabilidade do acordo setorial da logística Reversa de REEE;
3. Avaliar as tecnologias disponíveis para reciclagem de REEEs e compilar a alternativa mais viável de implantação no protótipo;
4. Propor um protótipo de um Centro Gerencial de REEE.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Resíduos de Equipamentos de Eletroeletrônicos (REEEs)**

Os avanços tecnológicos promoveram o crescimento econômico e a evolução na vida das pessoas de diversas maneiras. No entanto, a demanda crescente por produtos eletrônicos gerou um novo desafio ambiental: os resíduos e rejeitos gerados a partir de equipamentos eletroeletrônicos (EEEs), o pós-consumo. O ciclo de vida dos equipamentos está cada vez mais curto diante da evolução tecnológica das últimas décadas, resultando no consumismo exagerado e diminuição da vida útil dos equipamentos. Desta forma, o uso, o tratamento e a destinação dos resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEEs) tornam-se uma preocupação mundial. Metas a longo prazo, estabelecidas anteriormente para o gerenciamento de resíduos domésticos, parecem não ser suficientes para a gestão de resíduos tecnológicos, em incumbência do seu crescimento abundante e diversidade, bem como da pouca disseminação de técnicas eficientes de tratamento destes resíduos (XAVIER; CARVALHO, 2014).

Ainda, a redução da vida útil dos EEE é impulsionada pela fabricação de produtos que se tornam obsoletos ou descartáveis cada vez mais rápido. Novas gerações dos equipamentos são lançadas, apresentadas com aspecto inovador e com mínimas mudanças funcionais. Tal estratégia induz o consumidor final à troca (AFONSO, 2014). O ritmo avançado de produção e a característica da obsolescência imediata dos produtos eletrônicos fazem com que o manuseio e o gerenciamento do REEE seja um desafio fundamental para as estratégias de monitoramento destinadas a proteger tanto o meio ambiente quanto a saúde pública (AWASTHI *et al.*, 2019).

#### **3.2 Categoria dos Resíduos Eletroeletrônicos**

De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2013), os equipamentos eletroeletrônicos são todos aqueles produtos cuja realização depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. Eles podem ser divididos em quatro classes amplas, conforme discriminados abaixo:

- **Linha Branca:** refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras e condicionadores de ar;
- **Linha Marrom:** monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras;
- **Linha Azul:** batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras;
- **Linha Verde:** computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares.

Além disso, no Quadro 1, abaixo, apresenta-se, detalhadamente, quais produtos abrangem os REEEs, com base na divisão de Townsend (2011).

**Quadro 1** - Produtos abrangidos pelo REEE

<b>LISTA DE PRODUTOS</b>
<b>Eletrodomésticos Grandes:</b> são os aparelhos de refrigeração, como refrigeradores, freezers, outros aparelhos grandes usados para refrigerantes, conservação e armazenamento de alimento; máquinas de lavar roupas; secadoras de roupas; máquinas de lavar louça; fogões elétricos; placas de aquecimento elétricas; micro-ondas; aparelho de aquecimento elétrico; radiadores elétricos; ventiladores elétricos; aparelhos de ar condicionado.
<b>Pequenos Eletrodomésticos:</b> aspirador de pó; aparelhos utilizados para costura, tricô, tecelagem e outras formas de processamento de têxteis; ferros e outros aparelhos para engomar, amassar e outros cuidados com roupas; torradeiras; fritadeiras; moinhos; máquinas de café; facas elétricas; aparelhos para cortar cabelo, secar o cabelo, escovar os dentes, fazer barba; relógios; relógios com a finalidade de medir, indicar ou registrar o tempo.
<b>Tecnologia da Informação e Equipamentos de Telecomunicação:</b> mainframes; minicomputadores; unidades de impressão; computadores pessoais (CPU, mouse, tela e teclado incluídos); computadores, laptop (CPU, mouse, tela e teclado incluídos); notebooks; computadores blocos de notas; impressoras; equipamento de cópia; máquinas de escrever elétrica e eletrônica; calculadora de bolso e de secretária; fax; telex; telefones; telefones públicos; telefones sem fio; telefones celulares; outros produtos ou equipamentos de transmissão de som, imagens ou outras informações por telecomunicação.
<b>Equipamento de Consumo e Equipamento de iluminação:</b> Conjuntos de rádio; aparelhos de TV; câmeras de vídeo; gravadores de vídeo; gravadores hi-fi; amplificadores de áudio; instrumentos musicais; outros produtos ou equipamento para fim reprodução de som ou imagem; luminárias para lâmpadas fluorescentes, exceto luminárias para uso doméstico, lâmpadas fluorescentes retas e compactas; lâmpadas de descarga de alta intensidade, incluindo lâmpadas de sódio de pressão e metal; lâmpadas de iodo, lâmpadas de sódio de baixa pressão; outra iluminação ou equipamento com a finalidade de espalhar ou controlar a luz, com exceção de lâmpadas.

<p><b>Ferramentas Elétricas e Eletrônicas (com exceção de ferramentas industriais estacionárias de grande escala):</b> treinos; serras; máquinas de costura; equipamento para tornear, fresar, lixar, esmerilhar, serrar, cortar, cisalhar, furar, fazer orifícios, puncionar, dobrar, ou processamento semelhante de madeira, metal e outros materiais; ferramentas para rebitar, pregar ou parafusar ou remover rebites, pregos, parafusos ou usos semelhantes; ferramenta para soldagem, soldagens ou usos semelhantes; equipamento para pulverizar, espalhar, dispersar ou outro tratamento de substâncias líquidas ou gasosas por outros meios.</p>
<p><b>Brinquedos e Equipamento de Lazer e Esporte:</b> ferramentas para cortar relva ou outras atividades de jardinagem, trens elétricos ou conjuntos de corrida de automóveis; consolas de jogos de vídeo portáteis; videogames; computadores para ciclismo, mergulho, corrida, remo, etc.; equipamentos esportivos com componentes elétricos ou eletrônicos; máquinas ou caça-níqueis.</p>
<p><b>Dispositivos Médicos (exceto todos os produtos implantados e infectados):</b> equipamento de radioterapia; cardiologia; diálise; ventiladores pulmonares; medicina nuclear; equipamentos de laboratório para diagnóstico <i>in vitro</i>; analisadores; freezers; teste de fertilização; outros aparelhos para detectar, prevenir, monitorar, tratar ou aliviar doenças, lesões ou deficiências.</p>
<p><b>Instrumento de Monitoramento e Controle:</b> Detectores de fumaça; reguladores de aquecimento; termostatos; aparelhos de medição, pesagem ou ajustes para uso doméstico ou como equipamento de laboratório; outros instrumentos de monitoramento e controle usados em instalações industriais (por exemplo, em painéis de controle).</p>

Fonte: Townsend (2011).

### 3.3 Legislação e normas de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi sancionada pela Lei nº 12.305/2010, e traça a finalidade de diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, salientando não somente a responsabilidade dos geradores e do poder público, assim como a responsabilidade compartilhada, na qual inclui fabricantes, comerciantes, distribuidores, importadores, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (PORTO *et al.*, 2018). Podemos definir resíduos sólidos como:

Art. 3º [...]

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL,2010).

A PNRS 12.305/2010 salienta a importância, a prevenção e a redução na geração de resíduos, dispondo como proposta o desempenho de hábitos de consumo sustentáveis e um conjunto de instrumentos para proporcionar a destinação ambientalmente correta dos rejeitos, o aumento da reciclagem e a reutilização dos resíduos sólidos. A PNRS institui um esquema compartilhado pelo ciclo de vida do produto, resultante de inúmeros deveres legais para a cadeia produtiva, como a responsabilidade de estruturar e implementar sistemas de logística reversa para os EEE e seus integrantes. É dever do fabricante ou comerciante de EEE garantir pontos de coleta para receber os REEEs descartados pelo consumidor (BRASIL, 2010). Ademais, incumbe ao poder público a fiscalização para o fiel cumprimento desta lei e a aplicação, em caso de seu descumprimento, das penalidades previstas na legislação específica de danos à saúde pública ou ao meio ambiente (PORTO *et al.*, 2018).

Os resíduos oriundos dos eletroeletrônicos também são de difícil identificação, levando em consideração a vida útil longa e o repasse dos produtos, como fogões, televisores e geladeiras, para outros usuários (ABDI, 2013).

De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos estão classificados em 11 categorias quanto à origem e quanto à periculosidade. Os REE estão classificados no inciso II, alínea “a”:

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e

silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".

### 3.3.1 Decreto Nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020

Em 12 de fevereiro de 2020 foi assinado o Decreto nº 10.240, o qual regulamenta a logística reversa de eletroeletrônicos domésticos em todo o território brasileiro. O decreto nº 10.240 de 12 de fevereiro de 2020, regulamenta o artigo 56 da PNRS, além de complementar o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, no qual fica estabelecido que importadores, distribuidores, fabricantes e comerciantes devem estruturar e implementar sistemas de logística reversa para os resíduos eletroeletrônicos domiciliares. O decreto ainda determina para quem o consumidor deve entregar o seu resíduo eletroeletrônico. No parágrafo V, do artigo III, consta que, consumidores e usuários domésticos dos produtos eletroeletrônicos “entregam os referidos produtos em um dos pontos de recebimento estabelecidos, para fins de logística reversa e destinação final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2020).

O novo decreto objetiva a estruturação, a implementação e a operacionalização do sistema de logística reversa para eletroeletrônicos de uso doméstico, ou seja, atende somente os resíduos gerados por pessoa física. Não estão contemplados os resíduos eletroeletrônicos de uso não doméstico. Também não inclui as pilhas, baterias ou lâmpadas dos produtos eletroeletrônicos, já que estes já possuem um acordo de logística reversa. Além desses, não estão incluídas as grandes quantidades ou volumes de resíduos oriundos de grandes geradores (GALVÃO *et al.*, 2021).

### 3.3.2 Panorama dos resíduos sólidos no Estado do Tocantins

A Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) tem como finalidade afirmar a sustentabilidade dos recursos naturais do Estado nos processos de evolução produtiva, social, urbana e rural. É a responsável por firmar parcerias com o Ministério do Meio Ambiente para formação do plano estadual de resíduos sólidos. Também oferece apoio técnico aos municípios na execução de projetos, programas e planos municipais de resíduos sólidos (TOCANTINS, 2017).

Na elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins – PERS/TO, foi realizado o diagnóstico dos resíduos sólidos no Estado, com o objetivo de apurar dados e informações que representassem um panorama do setor para servir de subsídio na proposição de diretrizes, estratégias, programas, projetos e ações do referido tema.

### 3.4 Logística Reversa

A logística reversa é uma estratégia que exerce o papel de operacionalizar o retorno dos resíduos no pós-venda e pós-consumo ao ambiente de negócios ou produtivo, tendo em vista que dispor os resíduos em aterros sanitários, controlados ou lixões não basta no atual cenário empresarial. É indispensável, mais do que isso, promover a viabilidade de revalorização destes resíduos, os quais concebem retorno econômico e, ao mesmo tempo, viabilidade ambiental.

A PNRS (BRASIL, 2010), em seu artigo 3º das definições, classifica no seu inciso XII a logística reversa:

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

A logística reversa é um procedimento de organização, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, estoque em processamento e produtos terminados do ponto de consumo até o ponto de origem, com a finalidade de progredir ou realizar um descarte devido. O material é reutilizado, voltando a um segmento tradicional de suprimento formado por atividades que uma empresa opera

para coletar, separar, embalar e expedir itens usados, desgastados, obsoletos dos pontos de consumo até os locais de reprocessamento, revenda ou descarte (LEOPOLDINO; FERRAREZI, 2016).

A responsabilidade pela estruturação e implementação dos sistemas de logística reversa de alguns resíduos está bem definida na Lei nº 12.305/2010, destacando-a como sendo dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes. Aos consumidores caberá a responsabilidade de acondicionar adequadamente e disponibilizar os resíduos para coleta ou devolução, cujo descumprimento leva às sanções previstas em decreto. Da referida lei, cabe destacar o seguinte:

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

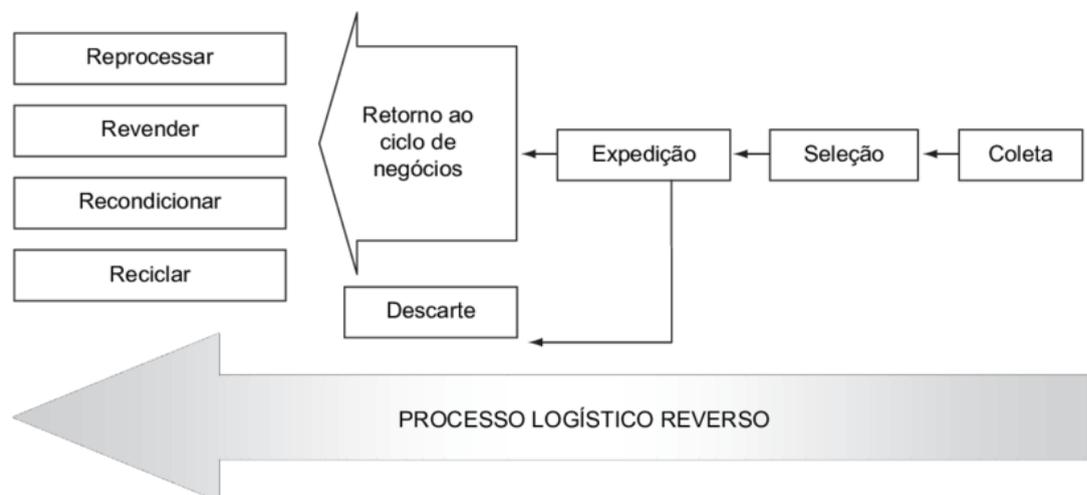
IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

Ao estabelecer a logística reversa, oportuniza-se ampliar a sistematização do ciclo de resíduos, bens e produtos descartados, colaborando, assim, para a redução do uso de recursos naturais e dos impactos ambientais oriundos da extração dos recursos e descarte inadequado dos resíduos.

Na Figura 1, a seguir, consta o fluxograma do processo logístico reverso dos REEEs.

**Figura 1** - Atividades típicas do processo logístico

**Fonte:** Adaptado de Lacerda (2003).

Em tese, a logística reversa possibilita a revalorização dos produtos depois do uso pelo consumidor, de forma que disponha a reintrodução no fluxo de logística direta, proporcionando o retorno do material atualizado, remanufaturado ou reciclado para o consumidor. Desse modo, a logística reversa expõe a importância essencial na minimização de resíduos em aterros, considerando que os materiais reaproveitáveis voltem ao ciclo produtivo (SILVA; PIMENTA; CAMPOS 2013).

### 3.5 Acordo Setorial da Logística Reversa de REEE

O Acordo Setorial para implantação do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos Domésticos e seus Componentes foi assinado no dia 31 de outubro de 2019 e teve seu extrato publicado no D.O.U de 19/11/2019. Por meio deste acordo, os integrantes da cadeia produtiva de REEE se comprometem a realizar uma série de ações para atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (SINIR, 2020). As entidades representativas do setor que estavam presentes para firmar o acordo foram: Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação (ABRADISTI), Federação das Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação (ASSESPRO NACIONAL) e Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (GREEN ELETRON) (BARROZO; MACIEL; MORAES, 2021).

Conforme demonstrado na Figura 2, abaixo, as primeiras tratativas que culminaram com a consolidação dos acordos setoriais tiveram início ainda no ano de 2010, e somente após quase 10 anos de estudos e discussões é que se consolidou o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos.

**Figura 2 - Cronologia dos acordos setoriais**



**Fonte:** Green Eletron (2019).

Existem inúmeros desafios para que o processo de implementação do Acordo Setorial se torne efetivo, tais como: a) a falta de consistência na classificação dos REEE, ocasionando problemas quanto às obrigações de segurança ambiental; b) falta de incentivo fiscal ou subsídios às empresas recicladoras; c) falta de canais de coleta de REEE eficientes; d) falta de tecnologia em território nacional para o aproveitamento de metais em circuitos impressos e outros, de forma que empresas estrangeiras são quem concluem esse processo (SANTOS, 2020).

Ademais, em países em desenvolvimento, como o Brasil, sistemas de logística reversa enfrentam problemas relacionados às brechas na legislação, falta de incentivos econômicos, baixa conscientização do consumidor e forte circulação interna de produtos sem origem legal (DEMAJOROVIC; AUGUSTO; SOUZA, 2016).

## 4 METODOLOGIA

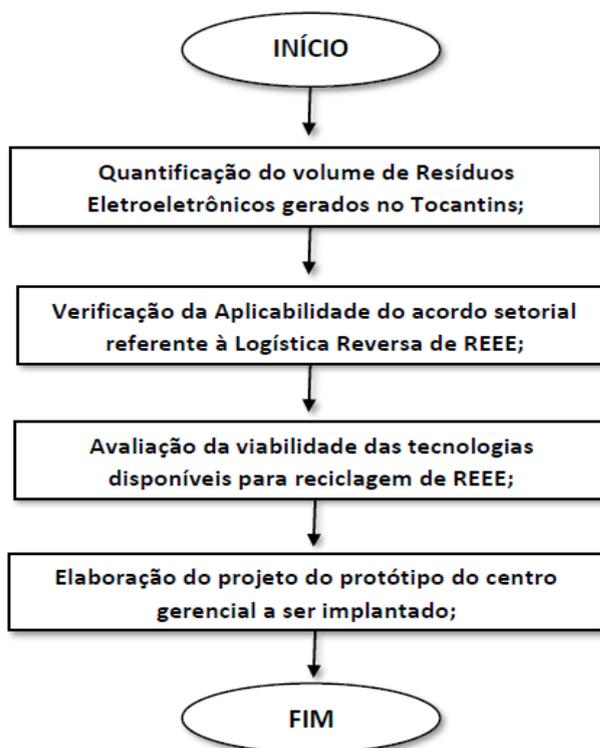
O presente trabalho foi desenvolvido na cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins, localizada no norte brasileiro. A última pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontou uma população estimada de 313.349 de habitantes para 2021. De acordo com último censo, o PIB *per capita* foi de, aproximadamente, R\$ 34.933,66 (IBGE, 2019).

A metodologia utilizada para a realização do trabalho possui uma abordagem quali-quantitativa e estruturou-se em revisão de literatura acerca da temática dos resíduos eletroeletrônicos e obtenção de dados primários por meio de visitas técnicas em empresas de processamento e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos em Foz do Iguaçu/PR e Uberlândia/MG, abordando, a partir de uma análise descritiva, temas como: quantitativo de geração de REEs no Tocantins, legislações pertinentes, bem como modelos de gerenciamento e tecnologias para reciclagem dos materiais. Para tal, o levantamento bibliográfico foi desenvolvido com base em artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, literatura específica, estudos de caso e sites oficiais dos Governos Federal e do Estado do Tocantins.

### 4.1 Procedimentos metodológicos

Após compilação de dados obtidos a partir dos estudos bibliográficos e em campo, foram definidas as etapas de execução do trabalho, contemplando a descrição dos procedimentos metodológicos adotados para obtenção dos objetivos deste trabalho.

Na Figura 3, abaixo, tais procedimento encontram-se sintetizados.

**Figura 3** - Etapas sequenciais dos procedimentos metodológicos

Fonte: Autor (2022).

#### 4.1.1 Quantificação do volume de Resíduos Eletroeletrônicos gerados no Tocantins

Inicialmente, para possibilitar a estimativa do volume de resíduos eletroeletrônicos gerados no Tocantins, realizaram-se pesquisas de campo em órgãos de controle e fiscalização e consulta a banco de dados em arquivos oficiais do Estado, porém não foram disponibilizados dados primários. Assim, os dados de estimativa de volume de REEE considerados no presente trabalho foram possíveis de serem obtidos somente por meio de fontes secundárias, extraídos do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins (TOCANTINS, 2017).

#### 4.1.2 Verificação da aplicabilidade do Acordo Setorial referente à Logística Reversa de REEE

A segunda etapa executada neste trabalho consistiu em realizar visitas técnicas, workshops com representantes de entidades representativas e com empresários do setor de reciclagem, de modo a possibilitar a verificação da aplicabilidade das ações e normativas previstas no acordo setorial, bem como

diagnosticar as deficiências técnicas atuais. Ademais, as experiências práticas vivenciadas no decorrer da elaboração do trabalho também foram determinantes para traçar o panorama acerca da temática.

#### 4.1.3 Avaliação da viabilidade das tecnologias disponíveis para reciclagem de REEE

Outra questão abordada nas etapas de elaboração do trabalho foi quanto às alternativas tecnológicas disponíveis para processamento e extração de metais nobres nos REEEs, sobretudo os contidos nas placas de circuito impresso. Tais tecnologias foram levantadas através de pesquisas bibliográficas em bases de dados científicos, visto que essa etapa consiste restritamente em revisão de literatura.

Os dados obtidos propiciaram a definição da alternativa tecnológica a ser adotada no modelo da Central, em função do valor de investimento, da capacidade de adequação em escala industrial e potencial de extração de componentes nobres nos materiais, considerando o contexto regional de geração de resíduos e a viabilidade tecnológica.

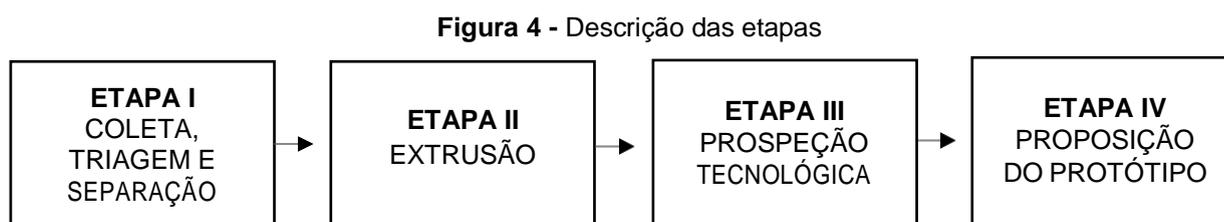
#### 4.1.4 Elaboração e proposição do projeto do protótipo do Centro Gerencial a ser implantado

Por fim, foi possível a compilação de dados coletados nas fases anteriores e elaboração do modelo operacional tecnológico mais viável a ser implantado, contemplando a proposição de espaços físicos dedicados a estações de trabalho para processos de recebimento, triagem, desmontagem, separação e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos, além de espaços para capacitação profissional, instrução de jovens, depósitos, salas de apoio, e área de plantio de hortaliças. Os fluxogramas operacionais propostos foram elaborados com base em manuais técnicos da ABDI (2013) e do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

Para elaboração dos projetos estruturais, arquitetônicos e layouts gráficos, utilizaram-se *softwares* digitais como: SketchUp e Autocad, sendo possível obter um modelo 3D do Centro de Gerenciamento.

## 4.2 Procedimentos da metodologia para gerenciamento de REEE

Os procedimentos metodológicos a serem executados para processamento dos resíduos no Centro Gerencial foram divididos em quatro etapas operacionais, as quais são apontadas na Figura 4 e descritas a seguir.



**Fonte:** Autor (2022).

**ETAPA I - Coleta, Triagem e Separação:** esta etapa compreende os procedimentos de coleta dos REEEs, de separação dos materiais coletados, conforme a categoria/linha e, posteriormente, aplicação de testes técnicos para avaliar o estado de funcionamento e possível reparo dos itens passíveis de reuso.

**ETAPA II -** Esta etapa compreende a fase de processamento físico dos materiais, seja por meio de processos de extrusão, segregação ou trituração. Consiste em transformar os componentes separados em grânulos, visando utilizá-los na produção de outros produtos ou na comercialização da matéria-prima obtida. Esta última fundamenta-se em fundir o material e gerar homogeneidade, a fim de se produzir material granulado novo ou reciclado.

**ETAPA III - Prospecção Tecnológica:** após o processamento físico dos materiais, a fração metálica seguirá para o seu processamento final, onde será submetida a processos tecnológicos para o refino, o qual poderá ocorrer por meio de processos hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos ou mecânicos. Ou ainda possíveis combinações entre algumas técnicas e tecnologias a serem destinadas à recuperação dos materiais.

**ETAPA IV -** Proposição do protótipo do Centro gerencial de REEE: por fim, será proposto um modelo para instalação do Centro de Gerenciamento, contemplando desde a planta baixa do empreendimento aos fluxos operacionais. A demonstração será por meio de apresentação em 3D.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Estimativa de geração de volume de Resíduos Eletroeletrônicos (REEEs) no Estado do Tocantins

Para possibilitar a estimativa do volume de resíduos eletroeletrônicos gerados no Tocantins, utilizou-se como referência o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do ano de 2017.

A obtenção dos valores de estimativa de geração de resíduos apresentados no PERS ocorreu por meio do envio de questionário aos municípios, para levantamento de dados primários quanto à gestão dos resíduos sólidos, levantamento de campo pelas equipes técnicas da consultoria contratada, pesquisa no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS-RS, do IBGE, do Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV), entre outros. Ademais, foram realizadas consultas em diversos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e também nos capítulos referente à gestão de resíduos sólidos nos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) para complementação de dados de fontes secundárias, como órgãos de pesquisa e regulação (TOCANTINS, 2017).

Com base nisso, destaca-se que o estado do Tocantins apresentou uma produção estimada de 9.697,85 toneladas de REEE por ano. Conforme a Tabela 1, observam-se as áreas-programa mais populosas do Estado (Palmas, Araguaína, Gurupi e Paraíso do Tocantins), ou seja, são as que mais produzem REEEs (TOCANTINS, 2017). Os dados estão visivelmente ilustrados no Gráfico 1, mais abaixo.

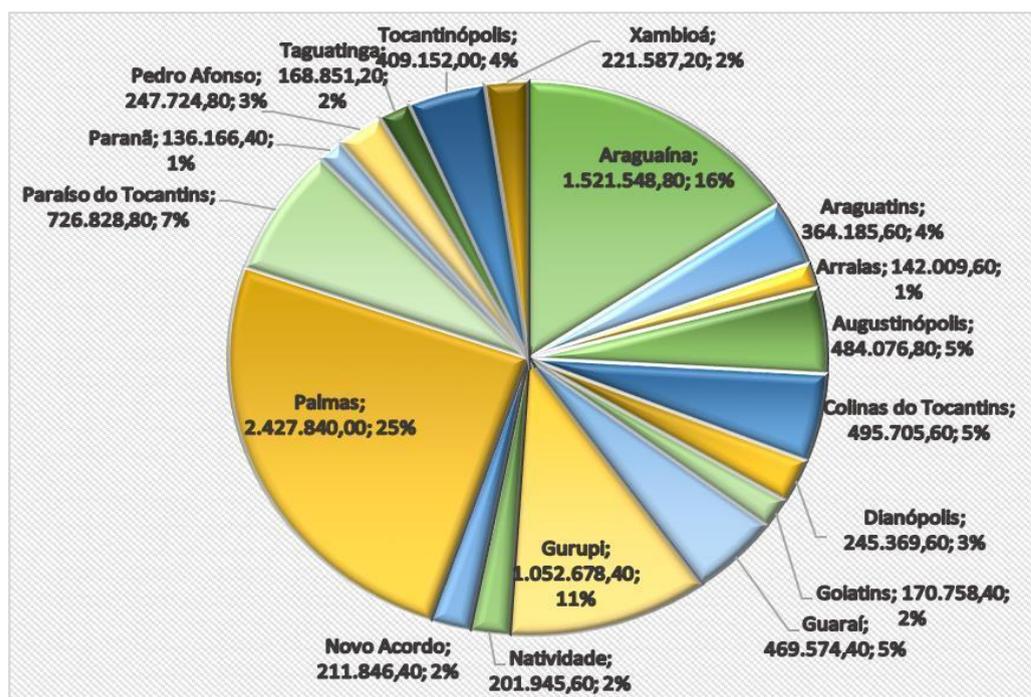
**Tabela 1** - Estimativa da geração de resíduos de equipamentos eletrônicos, por área-programa

Área-Programa	Estimativa de Geração de REEE (kg/ano)
Araguaína	1.521.548,80
Araguatins	364.185,60
Arraias	142.009,60
Augustinópolis	484.076,80
Colinas do Tocantins	495.705,60
Dianópolis	245.369,60
Goiatins	170.758,40

Guaraí	469.574,40
Gurupi	1.052.678,40
Natividade	201.945,60
Novo Acordo	211.846,40
Palmas	2.427.840,00
Paraíso do Tocantins	726.828,80
Paraná	136.166,40
Pedro Afonso	247.724,80
Taguatinga	168.851,20
Tocantinópolis	409.152,00
Xambioá	221.587,20
<b>Total</b>	<b>9.697.849,60</b>

Fonte: Tocantins (2017).

**Gráfico 1** - Distribuição da estimativa percentual de geração de REEE no Tocantins



Fonte: Tocantins (2017).

A obtenção desses dados possibilitou o planejamento preliminar acerca dos procedimentos técnicos a serem adotados no gerenciamento dos resíduos, bem como no dimensionamento da proposição dos *layouts*.

Assim sendo, com a implantação do Centro Tecnológico em Eficiência Gerencial de Resíduos Sólidos de Eletroeletrônicos podemos ter uma perspectiva de sucesso muito clara e concreta, sobretudo, se tomarmos como sugestão e diretriz os

dados citados pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) do ano de 2017.

## 5.2 Procedimentos de coleta, triagem e separação

As etapas do gerenciamento iniciam-se no recebimento das remessas de REEE, pesagem e registro e pré-triagem. É essencial que seja feita a pesagem, o registro e o controle, tanto nos fluxos de entrada quanto nos de saída.

A pré-triagem tem o objetivo de fazer uma inspeção visual dos REEEs recebidos, separá-los por tipos de aparelhos, e destiná-los segundo os seguintes critérios: aparelhos para reuso e revenda; aparelhos para desmontagem.

Após o recebimento e pesagem do resíduo, é necessário avaliar o estado do material por meio de testes de funcionalidade. Nessa etapa, propõe-se avaliar se o resíduo ainda pode funcionar ao fornecer corrente elétrica, caso não, tenta-se entender qual o problema e quais componentes podem ser aproveitados de forma a evitar sua desmontagem e fazer seu comércio como peça.

O ciclo de Teste e Reparo é opcional, caso haja um técnico especializado para tal. Em caso negativo, pode-se ampliar a área operacional e de armazenamento para realização apenas do ciclo de desmontagem.

Na Figura 5, constam alguns dos procedimentos realizados no projeto experimental.

**Figura 5 - Coleta de REEE – Linha verde**

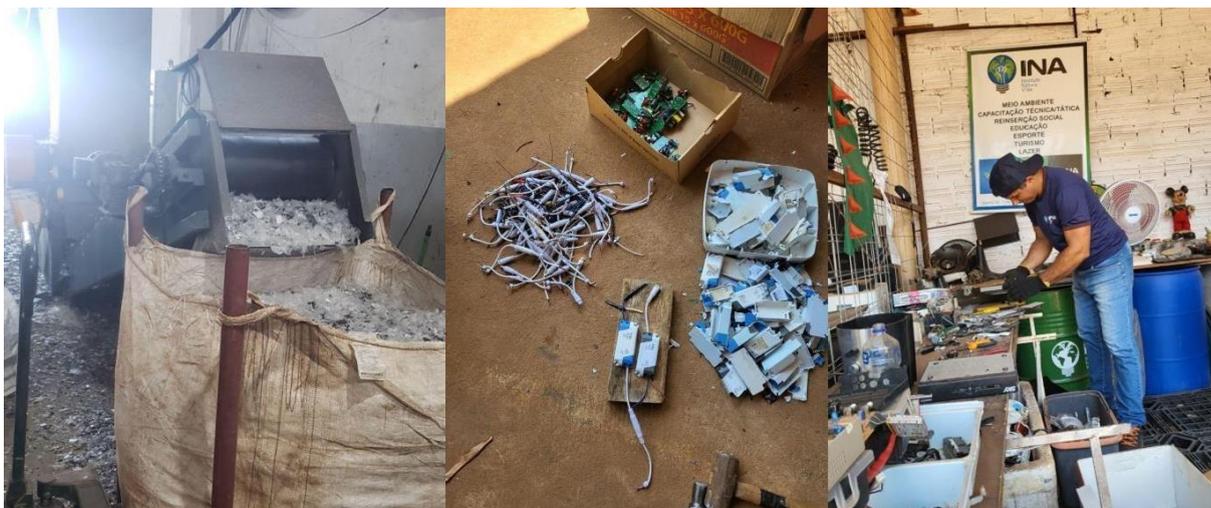


Fonte: Autor (2022).

### 5.3 Descrição dos procedimentos de trituração e extrusão dos materiais

Nesta fase, os materiais são processados e triturados por meio de máquinas trituradoras. Essa etapa tem por finalidade segregar o produto final da desmontagem, concentrando as substâncias de interesse. Desse modo, apresenta grande importância na viabilidade econômica do processo de tratamento dos REEEs.

**Figura 6** - Imagens sobre o procedimento de extrusão dos componentes



Fonte: Autor (2022).

### 5.4 Alternativas tecnológicas e processos para reciclagem dos REEEs

#### 5.4.1 Tecnologias e processos hidrometalúrgicos

As técnicas hidrometalúrgicas são bastante utilizadas na recuperação de metais provenientes dos REEEs, devido serem consideravelmente fáceis de aplicação de controle. Assim como as técnicas mecânicas, representam os métodos mais tradicionais para reciclagem de placa de circuito impresso (PCI) (CUI; ZHANG, 2008). Dentre as principais vantagens dos processos hidrometalúrgicos, se comparados aos outros processos, estão sua maior precisão, maior previsibilidade, facilidade de controle, menores impactos ao meio ambiente, simplicidade na separação dos componentes e menores custos (MENETTI *et al.*, 1996; VEIT, 2001).

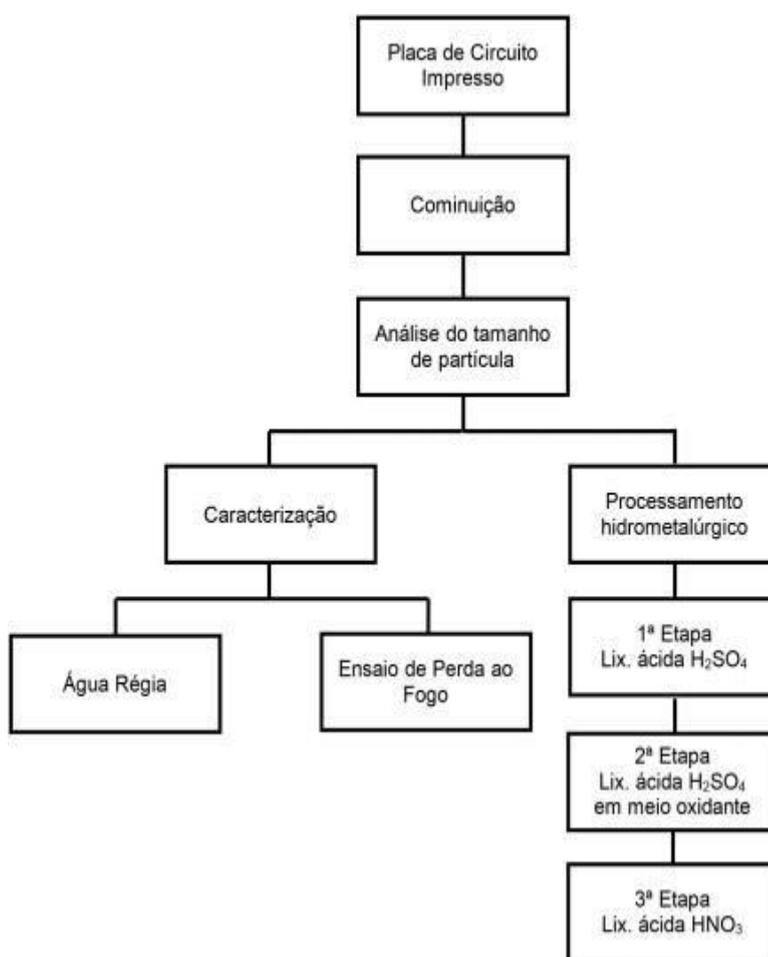
Os processos hidrometalúrgicos consistem na separação de metais, envolvendo reações de dissolução do material em soluções ácidas ou alcalinas. O

processamento de sucatas de PCI's contemplam variadas etapas e são utilizados somente para a fração metálica dos resíduos (HOFFMANN, 1992).

Dentre as diversas técnicas de solubilização de metais das PCI's, o processo de lixiviação utilizando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), apresentou resultados satisfatórios para a recuperação da prata (MELLO; MAYER; COSTA, 2016).

O processamento hidrometalúrgico (Figura 7, abaixo) é dividido em três etapas: lixiviação com ácido sulfúrico; lixiviação com ácido sulfúrico em meio oxidante e lixiviação em ácido nítrico. Durante os processos de lixiviação, o ensaio se mantém sob agitação mecânica constante em sistema fechado.

**Figura 7** - Fluxograma simplificado do processo hidrometalúrgico



**Fonte:** Caldas *et al.* (2015).

#### 5.4.2 Processos mecânicos de processamento de REEE

Os processos mecânicos costumam ser utilizados como alternativa de

processamento na etapa de pré-tratamento, a fim de se obter uma separação prévia dos metais, materiais poliméricos e cerâmicos, para posterior encaminhamento aos processos hidrometalúrgicos (SERRA; FERNANDES; PICANÇO, 2013).

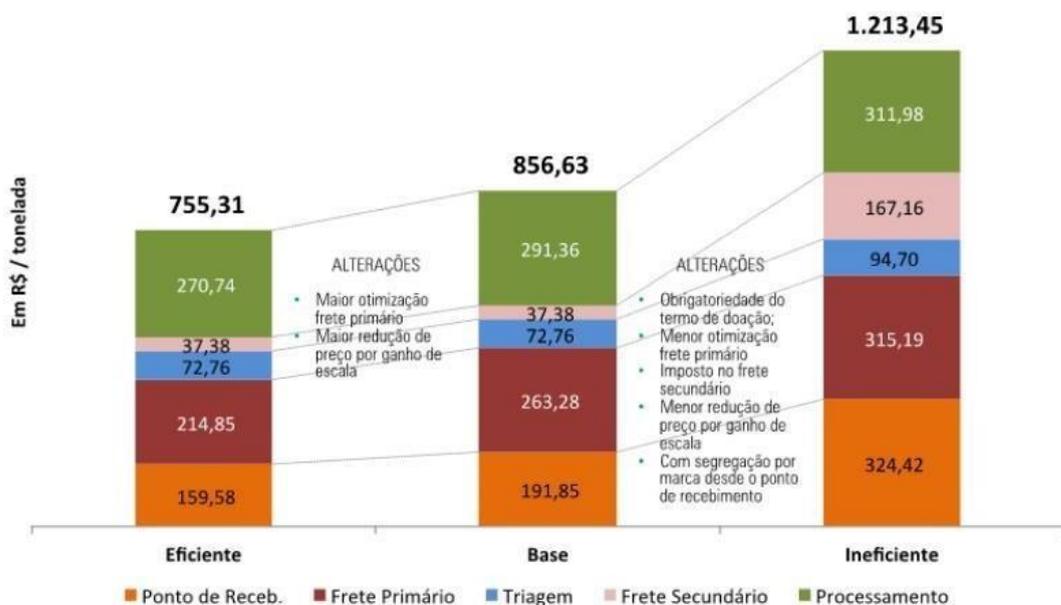
As etapas do processamento mecânico podem ser sintetizadas como: desmantelamento, moagem, classificação granulométrica, separação em meio denso, flotação, atrição, separação magnética e separação eletrostática (ZENI *et al.*, 2012).

## 5.5 Custo operacional

No que se refere ao custo operacional do processamento dos REEEs, configura-se como um tópico de elevado grau de incerteza, devido estar condicionado a fatores bastante instáveis. Oscilações no percentual de adesão e coleta, variações de mercado e nas taxas de frete são alguns fatores, bem como a carência de referências de preços contextualizados para implementação dos diversos processos que envolvem o gerenciamento dos resíduos.

Para possibilitar a estimativa dos valores de custos, utilizou-se como referência dados de levantamentos realizados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, apresentados no Gráfico 2, abaixo.

**Gráfico 2 - Cenários para o custo operacional do sistema**



Fonte: ABDI (2013).

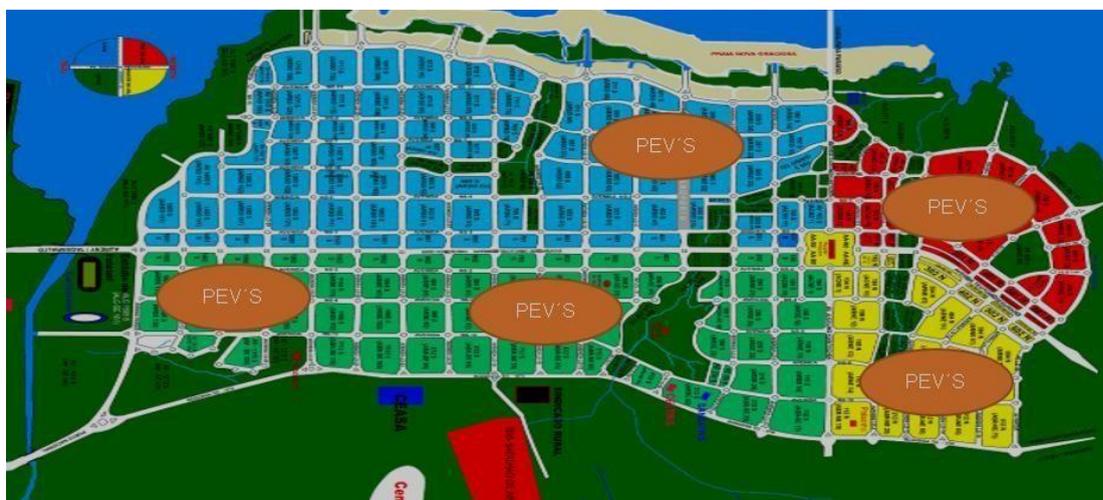
Os dados de levantamentos realizados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial também foram considerados para planejamento dos custos nas etapas de recebimento, transporte, triagem e processamento.

### 5.5.1 Recebimento

A etapa de recebimento pode ser implementada por meio da instalação de Pontos de Entrega Voluntárias (PEVs), os quais acondicionam os REEEs até serem retirados e encaminhados ao centro de gerenciamento, agendamento de coleta em caso de contratos para grandes volumes. Pessoa jurídica e grandes geradores, por sua vez, devem realizar contratos de coleta e recebimento para destinação correta (GIESE *et al.*, 2021). Segundo a ABDI (2013), em um modelo eficiente de gerenciamento de resíduos, gastos com recebimento devem representar até 21% por tonelada do montante total destinado ao gerenciamento.

A princípio, o plano diretor da cidade de Palmas foi dividido em regiões de interesse, nas quais serão instalados os PEVs, conforme se verifica na Figura 8.

**Figura 8** - Distribuição dos PEVs na cidade de Palmas-TO



Fonte: Autor (2022).

A escolha da distribuição dos pontos de coleta foi em decorrência das experiências práticas realizadas no decorrer da elaboração do trabalho, as quais apontaram um maior volume de geração de resíduos em áreas de padrão social com maior poder de consumo. Constatou-se que o volume de resíduos em áreas periféricas é praticamente inexistente para coleta e PEVs. Em que pese a existência

de resíduos, verificou-se que os mesmos acabam sendo destruídos pela população local, com baixo poder aquisitivo, para venda, sendo utilizados como meio complementar de renda.

### 5.5.2 Transporte

A rota de transporte dos REEEs deve ser definida de forma que seja eficiente. Para tal, é importante traçar rotas que atendam diferentes destinos, evitando trajetos maiores para transportes individuais. Os gastos com frete se mostram um componente relevante, devido aos altos custos. Dessa forma, deve haver sempre um planejamento prévio orçamentário e logístico, para que os valores de venda dos resíduos cubram seus custos e gerem lucros (GIESE *et al.*, 2021). Em relação aos gastos esperados com transportes e frete dos resíduos, espera-se direcionar até 5% do valor total de gerenciamento por tonelada de REEE, conforme cenários elaborados pela ABDI.

### 5.5.3 Triagem

Após passar pelos processos de transporte e ser recebido no centro gerencial, é necessário avaliar o estado do resíduo por meio de testes de funcionalidade. Isso é, deve ocorrer uma triagem com o intuito de avaliar se o equipamento descartado ainda pode funcionar totalmente ou parcialmente ao fornecer corrente elétrica; caso não, busca-se avaliar a viabilidade de reparo para reuso, ou o seu direcionamento para desmontagem.

Essa etapa poderá demandar investimentos em diversos equipamentos e ferramentas, tais como: bancadas equipadas com boa iluminação e tomadas; armário para armazenamento das peças em bom estado; pincéis de limpeza; aspirador de pó; chaves de fenda, alicates; multímetro; ferro de solda. O valor destinado para essa etapa deve representar até 10% do valor total investido por tonelada.

### 5.5.4 Processamento

No beneficiamento, os materiais podem ser processados por trituração e

separação. Esta etapa tem por finalidade segregar o produto final da desmontagem, concentrando as substâncias de interesse. Desse modo, tem grande importância na viabilidade econômica do processo de tratamento dos REEEs. Após o beneficiamento, os materiais resultantes passam pela etapa de refino, responsável pela extração propriamente dita dos metais e polímeros de interesse (GIESE *et al.*, 2021).

Devido ao maior grau de aplicação de maquinários, materiais e mão de obra especializada, a etapa de processamento compreende a de maior valor investido por tonelada de resíduo processado, podendo chegar em, até, 35% do valor total.

## 5.6 Investimentos para implantação

### 5.6.1 Orçamento de custos para execução da obra

A implementação do Centro de Gerenciamento demandará espaços para os setores administrativo, social (banheiros, almoxarifado e vestiário) e operacional. O setor operacional compreende atividades de recebimento, triagem, separação, desmontagem e armazenamento para ser transportado posteriormente.

**Tabela 2** - Orçamento de custos para execução da obra

DESCRIÇÃO DO ITEM	VALOR R\$/ m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	TOTAL Parcial (R\$)
Área do Terreno Industrial em Palmas	266,16	4.000	1.064.640,00
Área Construída - C.U.B. Goiás Outubro de 2022 (R\$/m <sup>2</sup> )	948,13	2.037,14	1.931.473,55
Horta	85,32	407,49	34.767,05
Estacionamento e pavimentação externa	106,43	1.825,37	194.274,12
Muro e Alambrado	66,93	205 (m linear)	13.720,65
	<b>TOTAL</b>		<b>3.238.875,37</b>
*Área Construída – C.U.B. Tocantins Maio de 2019 (R\$/m <sup>2</sup> )	709,50	2.037,14	1.445.350

Nota: \*O C.U.B. de Palmas consta apenas como um comparativo entre o último disponibilizado por Palmas e o de Goiás, sendo este o efetivamente utilizado para o cálculo do custo da edificação proposta.

**Fonte:** Autor (2022)

Para a elaboração de um orçamento para execução de obra do Centro Gerencial de Resíduos Eletroeletrônicos, optou-se pelo uso do Custo Unitário Básico (CUB) projeto-padrão de Galpão Industrial para o custo macro da construção, de composições da tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAP) para os elementos construtivos complementares à edificação e da Planta de Valores Genéricos (PVG) de Palmas (Decreto nº 2.134, de 30 de dezembro de 2021) para uma média dos valores de terrenos Industriais no município.

O CUB, como a ABNT NBR 12721:2006 estabelece, é o custo por metro quadrado de projeto-padrão, calculado de acordo com a metodologia desta mesma Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). De acordo com a Lei Federal nº 4.591/64, o CUB deve ser elaborado mensalmente pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil, porém o Tocantins dispõe de atualizações somente até maio de 2019. Para o exercício mais preciso dos valores elaborados para a execução do edifício, utilizou-se do CUB de outubro de 2022, pertencente ao Estado de Goiás, uma região com economia semelhante à do Tocantins.

Para os elementos de suportes externos à edificação, como estacionamento, calçadas, muros, alambrados e a horta, foi utilizado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), um conjunto de tabelas agregando valores de insumos e composições de elementos construtivos. Tais tabelas são mantidas pela Caixa Econômica Federal e pelo IBGE e, tal como o CUB, são atualizadas mensalmente. Para esse propósito utilizou-se a tabela da região do Tocantins referente a outubro de 2022.

Quanto ao custo referente ao terreno para a edificação, estabeleceu-se que sua locação seria em um Lote Industrial idealizado na região de Palmas. Para exercício de quantificação, o custo se baseou na PVG de Palmas, atualizada pelo Decreto nº 2.134, de 30 de dezembro de 2021. Como os valores de metro quadrado diferem entre as quadras, mesmo que de mesma qualificação, optou-se pela média de valor obtido na soma do custo do metro quadrado, dividido pela quantidade de quadras.

### 5.6.2 Equipamentos, maquinários e demais itens industriais

Dentre os equipamentos e ferramentas necessários para a execução dos processos de reciclagem de REEE podem-se citar: Bancada para triagem, separação e desmontagem de REEE; Ferramentas para desmontagem; Maquinário triturador, elevadores de carga e esteiras; Equipamentos de proteção individual (botas, luvas, óculos de proteção, máscaras); Balanças industriais. A descrição detalhada está contida no Quadro 2, abaixo.

**Quadro 2** - Descrição dos itens industriais

F1		<p>As <b>Chaves de Fenda</b> são as ferramentas mais usadas. Considerando-se todos os diferentes aparelhos, todos os diferentes formatos e tamanhos de chaves (Philips, torx, etc.) são necessários. Para a desmontagem de discos rígidos, por exemplo, são necessárias chaves Philips muito pequenas.</p>
F2		<p>Além de desparafusar, uma <b>Chave de Fenda</b> pode ser utilizada para soltar rótulos, suportes de borracha etc. das superfícies plásticas e abrir pequenas carcaças (ex: mouse).</p>
F3		<p>Um <b>Martelo</b> é utilizado, por exemplo, para quebrar o defletor magnético em um monitor CRT. A parte de trás do martelo pode ser usada para abrir invólucros colados.</p>
F4		<p>Um <b>Alicate de Corte</b> é necessário sempre que a tesoura não for forte o suficiente, por exemplo, para cortar cabos de energia.</p>

F5		Os <b>Alicates Universais</b> são utilizados com muita frequência para remover componentes colados.
F6		As <b>Tesouras Industriais</b> resistentes são utilizadas principalmente para cortar cabos e fios.
F7		O <b>Estilete</b> é utilizado em várias situações, por exemplo, para descamar o cabo grosso em um monitor CRT, remover material estranho, etc.
F8	 	<p>A <b>Desparafusadeira Elétrica</b> pode ser utilizada sempre que os parafusos estiverem livremente acessíveis. Um investimento em uma desparafusadeira elétrica vale a pena, uma vez que economiza tempo de maneira considerável.</p> <p>A <b>Desparafusadeira Pneumática</b> pode ser utilizada sempre que os parafusos estiverem apertados. Ela funciona com ar comprimido, transformando-o em energia. São as mais indicadas para trabalhos em linhas de produção, devido à grande quantidade de perfurações e de parafusos.</p>
F09		Uma <b>Espátula</b> é utilizada para limpar superfícies com adesivos ou resíduos de adesivos (ex.: CRT).
F10		Um <b>Pequeno Machado</b> (ou um martelo) é utilizado para remover o canhão de elétrons do CRT.

E1		<p><b>Luvas de Segurança</b> protegem o trabalhador de cortar as mãos com objetos pontiagudos ou lascas. Luvas ideais devem ser justas de maneira que o trabalhador não seja prejudicado na execução do seu trabalho.</p>
E2		<p><b>Óculos de Proteção</b> devem ser usados sempre que o martelo for utilizado ou ao remover cartuchos e toners das impressoras.</p>
E3		<p><b>Máscaras de Proteção</b> contra poeira devem ser usadas ao equalizar a pressão em um monitor CRT, ao cortar o tubo do monitor CRT e enquanto se manuseia a impressora.</p>
E4		<p><b>Sapatos de Proteção</b> contêm barras de aço e protegem o trabalhador em caso de queda de componentes pesados.</p>
E5		<p>Os <b>Aventais</b> são de extrema importância, pois protegem o corpo inteiro do trabalhador contra vários tipos de riscos.</p>
E6		<p>O <b>Macacão Químico</b> protege o corpo inteiro do trabalhador contra vários tipos de riscos químicos.</p>
I1		<p>Os <b>Big Bags</b> são sacos industriais feitos em polipropileno com material flexível para transportar os resíduos eletroeletrônicos em grandes volumes a granel.</p>
E1		<p>Uma <b>Balança Industrial</b> resistente é necessária para quantificar o material recuperado. Deve aguentar, no mínimo, 200 kg.</p>

E2		<p>A <b>Mesa de Triagem</b> em inox ou aço carbono tem como utilidade a inspeção visual para avaliar o estado de funcionamento dos equipamentos eletroeletrônicos.</p>
E3		<p>A <b>Esteira Transportadora Horizontal</b> para triagem de resíduos sólidos é muito importante para agilizar o sistema de escolha dos materiais que vem à granel para separação, trazendo redução de custo com mão de obra e aumentando a produtividade.</p>
E4		<p>O uso da <b>Empilhadeira Elétrica</b> traz mais segurança, rapidez e eficiência para mover cargas de cima para baixo e vice-versa, seja em áreas internas, externas ou em ambientes apertados.</p>
E5		<p>O <b>Triturador de Resíduos Eletroeletrônicos</b> serve para triturar resíduos com muita resistência.</p>

Fonte: Autor (2022)

**Quadro 3** - Custos estimados para maquinários industriais

	Esteira Transp. Ind.	1	R\$12.000,00	R\$12.000,00
	Triturador p/ resíduos plásticos	1	R\$25.000,00	R\$25.000,00
Industrial	Triturador p/ resíduos vítreos	1	R\$58.500,00	R\$58.500,00
	Elevador de carga	1	R\$9.500,00	R\$9.500,00
	Balança industrial	2	R\$2.250,00	R\$4.500,00
	Prensa para metal	1	R\$35.500,00	R\$35.500,00

Fonte: Pessoa (2018).

Os custos esperados com maquinários e outros equipamentos industriais para

a fase de recebimento, triagem, separação e extrusão podem ser estimados em cerca de R\$ 200.000,00 (duzentos mil reais).

### 5.6.3 Receita

Um dos pontos fundamentais nas tomadas de decisão e no direcionamento da implementação do Centro de Gerenciamento é o modelo financeiro e as fontes de receita disponíveis. Dentre as opções acessíveis, apontam-se:

- a) **Financiamento:** alternativa para consolidação do fluxo de caixa a partir de iniciativas de incentivo econômico como, por exemplo, pleito de financiamentos;
- b) **Venda dos componentes recicláveis:** o valor dos componentes varia de acordo com a rota logística de reciclagem e, ao longo do tempo, de acordo com o mercado. A precificação de venda dos REEEs pode ser realizada por valor unitário de material ou lote de resíduo eletroeletrônico ou componentes, de acordo com o nível de segregação e descaracterização (GIESE *et al.*, 2021).
- c) **Crédito de Reciclagem:** a reciclagem dos resíduos pode ser revertida em crédito por iniciativas em diferentes setores, e a renda, utilizada para custear algumas despesas oriundas da implantação e operação do centro de gerenciamento.

## 5.7 Proposição do protótipo do Centro de Gerenciamento

O presente projeto destina-se à construção do Centro Tecnológico em Eficiência Gerencial de Resíduos Eletroeletrônicos, com área total de 4.000 m<sup>2</sup> a ser implantado na cidade de Palmas-TO. A Figura 9, a seguir, contempla a proposta da fachada do Centro Tecnológico e a Figura 10, um panorama aéreo de todo o Centro. O projeto contempla um galpão operacional (Figura 11, mais adiante) sendo dividido em linhas de recebimento, triagem, desmontagem e processamento dos resíduos, e setores administrativos diversos. A área externa possui espaços dedicados para circulação de veículos pesados, balança industrial e horta.

Os setores industriais de gerenciamento e processamento dos REEes contemplam equipamentos e maquinários direcionados à separação, extrusão (Figura 12, logo mais abaixo) e extração dos componentes dos resíduos (Figura 13, também mais abaixo).

**Figura 9 - Fachada do Centro de Gerenciamento**



Fonte: Autor (2022).

**Figura 10 - Vista aérea**



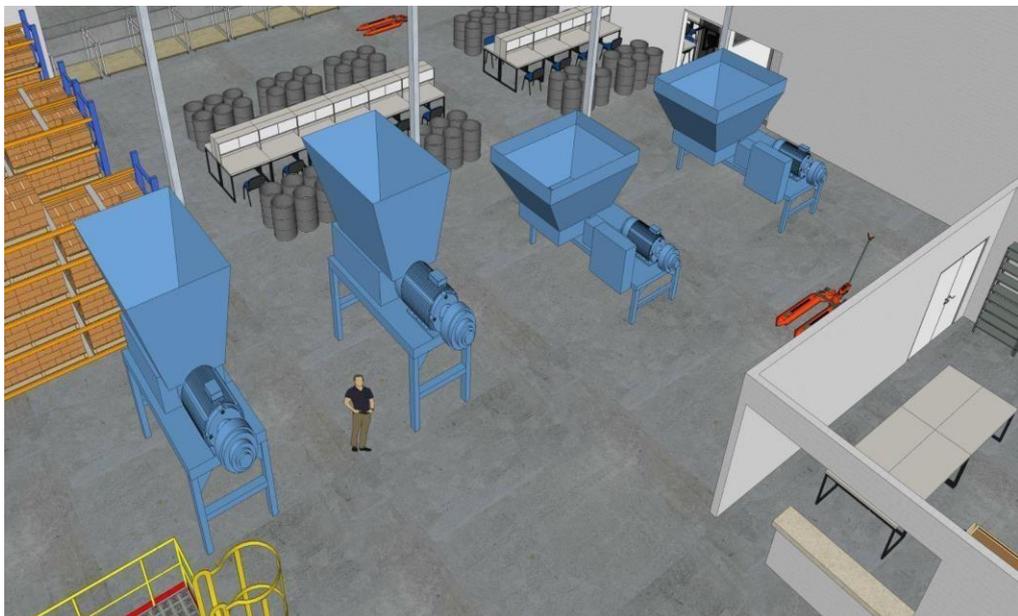
Fonte: Autor (2022).

**Figura 11 - Galpão - Setor de Triagem**



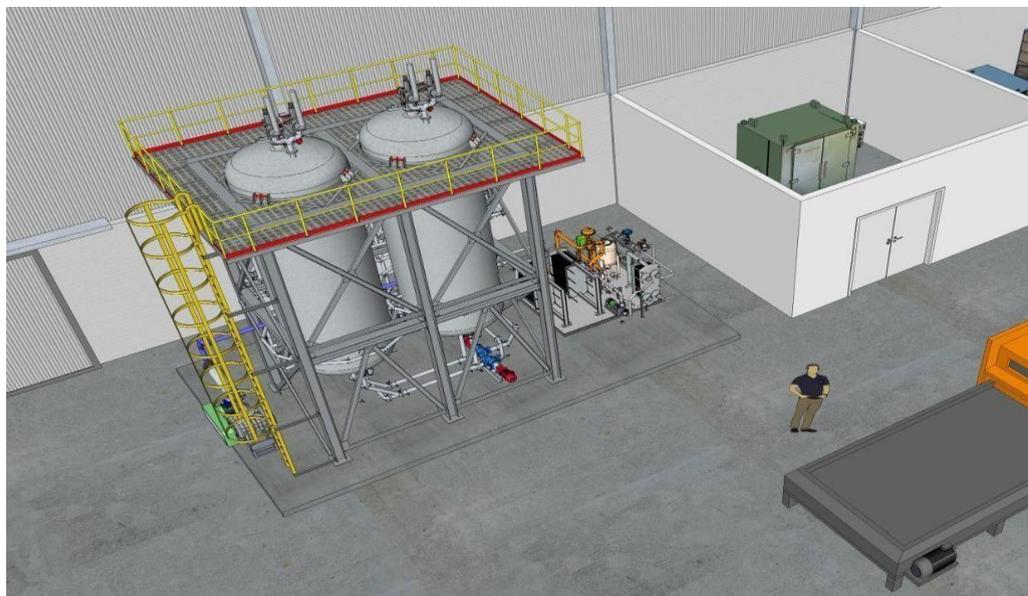
**Fonte:** Autor (2022).

**Figura 12 - Maquinário para extrusão dos resíduos**



**Fonte:** Autor (2022).

**Figura 13** - Tanques para processos hidrometalúrgicos de extração de componentes dos REEEs



**Fonte:** Autor (2022)

A implantação do Centro Gerencial na cidade de Palmas/Tocantins atenderá à carência de alternativas de processamento de resíduos eletroeletrônicos em escala local e regional, expandindo a rota logística da reciclagem e contribuindo para a logística reversa relacionada ao norte do Brasil.

Além do benefício ambiental, as vantagens socioeconômicas potencialmente adquiridas com a implantação da indústria promoverão geração de renda, emprego e desenvolvimento regional.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que se refere ao levantamento do quantitativo de geração de REEE no Estado do Tocantins, observou-se uma considerável carência de dados disponíveis para execução da metodologia proposta neste trabalho, haja vista que os órgãos públicos detentores destas informações não tornaram esses dados de acesso público. Diante disso, a obtenção da estimativa de volume ficou restrita às fontes secundárias expressas no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins, o qual estima uma produção de 9.697.849,60 kg/ano.

Após levantamentos bibliográficos e visitas técnicas, obteve-se um modelo eficiente e tecnológico adaptado à realidade de mercado e logística do Estado do Tocantins e consequente modelo de um projeto estrutural de 4.000m<sup>2</sup>, contemplando a tecnologia e eficiência necessária à sustentabilidade da cadeia de logística reversa e mineração urbana. Dentre as alternativas tecnológicas estudadas, a rota hidrometalúrgica apresentou melhor aplicabilidade industrial e potencial de sucesso na extração dos elementos nobres contidos nos componentes dos REEEs.

O modelo atual de logística reversa, implementado em atendimento ao Decreto nº 10.240/2020 e executado atualmente pela entidade gestora, a Associação Brasileira de Recicladores de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE), impõe que os processos de coleta e recebimento devem ocorrer sem custos operacionais, ficando restritos à modalidade de entrega voluntária através de pessoa física. O modelo adotado pela ABREE, bem como o valor do repasse monetário adotado pela entidade, não se mostram compatíveis diante dos custos gerenciais aplicados aos processos, comprometendo a sustentabilidade da cadeia da logística reversa.

Por fim, considerando o cenário de centros industriais de processamento de resíduos eletroeletrônicos e eletrodomésticos, os quais operam de forma dissociada aos processos de logística reversa institucionais do Estado, o modelo comercial possui maior liberdade de negociação de preços e de parcerias comerciais, com possibilidade de direcionar maiores investimentos aos processos de gerenciamento e processamento, possibilitando maior sustentabilidade à cadeia com retorno financeiro e lucro.

Ainda, em relação ao custo-benefício voltado à rentabilidade industrial, a reciclagem e/ou venda de resíduos da Linha Verde apresenta maior índice de

retorno financeiro, em decorrência de seus componentes apresentarem maior volume de terras raras em sua composição e conseqüente maior valor de mercado.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos**: análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília-DF, 2013. Disponível em: [http://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC//arquivos/dwnl\\_1416934886.pdf](http://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC//arquivos/dwnl_1416934886.pdf). Acesso em: 10 mar. 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto NBR 12721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AFONSO, J. C. Lixo Eletroeletrônico. **Revista Ciência Hoje**. 2014. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/lixo-eletroeletronico/>. Acesso em: 03 mar. 2021.

AWASTHI, A.K.; LI, J.; KOH, L.; OGUNSEITAN, O. A. Circular economy and electronic waste. **Nature Electronics**, [S. l.], v. 2, p. 86-89, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41928-019-0225-2>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BALDÉ, C. P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor 2017**: quantities, flows and resources, Bonn, Geneva, and Vienna: United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association, 2017. Disponível em: <https://ewastemonitor.info/gem-2017/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

BARROZO, A. S.; MACIEL, J. P.; MORAES, C. A. M. Análise de reciclabilidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo na região metropolitana de Porto Alegre-RS. *In*: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 9., 2021, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2021, p. 370-381. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228804?show=full>. Acesso em: 10 mar. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020**. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm). Acesso em: 10 mar. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9605, de fevereiro de 1998, e da outras providências. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 10 mar. 2021.

BRASIL. **Lei nº 4.591, de 16 de dezembro de 1964**. Dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4591.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4591.htm). Acesso em: 10 ago. 2022.

BRIDA, I. C. Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos: uma análise do

sistema no Brasil. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 25, p. 110-133, 2019.

Disponível em:

<http://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/view/5409#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,%2C%20importadores%2C%20distribuidores%20e%20co%20merciantes>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CALDAS, M. P. K.; TENÓRIO, J. A. S.; CALDAS, M. P. K.; SOUSA, L. M.; MORAES, V. T.; NASCIMENTO, F. C.; ESPINOSA, D. C. R. Reciclagem de placas de circuito impresso visando recuperação de prata: estudo de uma rota hidrometalúrgica. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 12, n. 2, p. 102-108, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002644810>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CELINSKI, T. M.; CELINSKI, V. G.; REZENDE, H. G.; FERREIRA, J. S. Perspectivas para reuso e reciclagem do lixo eletrônico. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2., 2011, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: UNOPAR, 2011, p.1-4. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/III-020.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

CUI, J.; ZHANG, L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review. **Journal of Hazardous Materials**, p. 228-256. 2008.

DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F.; SOUZA, M. T. S. Reverse logistics of WEEE in developing countries: challenges and perspectives for the Brazilian model. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 117-138. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/hsym9V35CCXBNfn4sbNmctD/?lang=en>. Acesso em: 21 ago. 2022.

SERRA, J. C. V.; FERNANDES, I. S. M.; PICANÇO, A. P. **Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: tecnologias de reciclagem e impactos ambientais**. São Paulo: Novas Edições Acadêmicas, 2013.

FERREIRA, D. C.; SILVA, J. B.; GALDINO, J. C. S. Reciclagem de Lixo Eletrônico. **Holos**, [S. l.] v. 5, n. 26, p. 104-112, 2010. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/search/search?simpleQuery=RECICLAGEM+DE+LIXO+ELETR%C3%A9NICO&searchField=query>. Acesso em: 09 abr. 2021.

FILHO, S. T.; MACHADO, C. J. S.; VILANI, R. M.; PAIVA, J. L.; MARQUES, M. R. C. A Logística Reversa e a Política Nacional de Resíduos Sólidos: desafios para a realidade brasileira. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, set./ dez. 2015, p. 529-538, Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/19322/pdf/95711>. Acesso em: 25 abr. 2021.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential**. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. 2020. Disponível em:

[https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM\\_2020\\_def\\_july1\\_low.pdf](https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf). Acesso em: 20 ago. 2022.

GALVÃO, T. W. F. B.; OLIVEIRA, E. M.; GALVÃO, T. W. F. B.; ANDRADE, J. A. B. Cumprimento de políticas públicas ambientais e destinação de resíduos eletrônicos: uma análise dos fatores dificultadores. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 14, n. 1, p. 07-13, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/352929007\\_Cumprimento\\_de\\_politicas\\_publicas\\_ambientais\\_e\\_destinacao\\_de\\_residuos\\_eletronicos\\_uma\\_analise\\_dos\\_fatores\\_dificultadores](https://www.researchgate.net/publication/352929007_Cumprimento_de_politicas_publicas_ambientais_e_destinacao_de_residuos_eletronicos_uma_analise_dos_fatores_dificultadores). Acesso em: 20 ago. 2022.

GIESE, E. C.; XAVIER, L. H.; OTTONI, M.; ARAUJO, R. (orgs.) **Cooperativas e a gestão de resíduos eletroeletrônicos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021. Disponível em: [https://www.cetem.gov.br/antigo/livros/item/download/2998\\_c1a08faadb5526b8e8223552c65ad819](https://www.cetem.gov.br/antigo/livros/item/download/2998_c1a08faadb5526b8e8223552c65ad819). Acesso em: 20 ago. 2022.

GREEN ELETRON. **O que é o Acordo Setorial para a Logística Reversa de Eletroeletrônicos?** [S. l.], 2019. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/o-que-e-o-acordo-setorial-para-a-logistica-reversa-de-eletroeletronicos/>. Acesso em: 10 out. 2022.

HOFFMANN, J.E. Recovering Precious Metals from Electronic Scraps. **JOM - The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society**, n. 44, jul. p. 43-48, 1992. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03222275#citeas>. Acesso em: 21 ago. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. **Palmas: panorama**, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: 21 ago. 2022.

LACERDA, L. Logística Reversa: uma visão sobre os conceitos e as práticas operacionais. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (orgs.) **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo: Atlas, 2003. p. 475-483.

LEOPOLDINO, M. R. C. C.; FERRAREZI, R. A Logística Reversa e as Questões Ambientais. In: BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 1.; 2016, Campinas-SP. **Anais [...]**, Campinas: UNICAMP, 2016, p. 1-5. Disponível em: <https://www.lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-16/proceedings/PA30-16-edited.pdf>. Acesso em: 10 maio 2021.

LIMA, A. F. O.; SABIÁ, R. J.; TEIXEIRA, R. N. P.; JÚNIOR, F. A. V. S. Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos e seus impactos na poluição ambiental. **Latin American Journal of Business Management**, [S. l.], v. 6, n. 2, 2015. Disponível em: <https://www.lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/256>. Acesso em: 25 mar. 2021.

MARTINS, L. B. **Reflexões sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a**

**sua importância no cenário da logística reversa de resíduos:** com ênfase no acordo setorial de embalagens em geral. 2021. Monografia (Bacharelado em Direito) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda – RJ, 2021. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/24181>. Acesso em: 25 ago. 2021.

MELLO, A. P.; MAYER, J. P. S.; COSTA, K. A. S. Considerações sobre a destinação do lixo eletrônico. **Revista Fatec Zona Sul**, São Paulo-SP, v.2, n.3, p.1-13, 2016. Disponível em: <http://www.revistarefas.com.br/index.php/RevFATECZS/article/view/52>. Acesso em: 09 abr. 2021.

MENETTI, R. P.; CHAVES, A. P.; TENÓRIO, J. A. S. Obtenção de concentrados metálicos não-ferrosos a partir de sucata eletrônica. *In: CONGRESSO ANUAL DA ABM*. 1996, São Paulo. **Anais [...]**, São Paulo: AGM, 1996. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000905413>. Acesso em: 10 out. 2022.

PACE - Platform for Accelerating the Circular Economy. **A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot**. Geneva, Switzerland: World Economic Forum. 2019. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_A\\_New\\_Circular\\_Vision\\_for\\_Electronics.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf). Acesso em: 12 ago. 2021.

PALMAS. Prefeitura. **Decreto nº 2.134, de 30 de dezembro de 2021**. Atualiza a Planta de Valores Genéricos, instituída pela Lei nº 2.428, de 20 de dezembro de 2018, na forma que especifica. Disponível em: <https://legislativo.palmas.to.gov.br/media/leis/decreto-2134-2021-12-30-3-1-2022-19-8-21.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

PALMAS. Secretaria Municipal de Assuntos Jurídicos. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO**. v. 1, jan. 2014. Disponível em: [https://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB\\_Palmas\\_Volume\\_01\\_Consideracoes\\_Iniciais\\_Versao\\_Final.pdf](https://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_01_Consideracoes_Iniciais_Versao_Final.pdf). Acesso em: 20 abr. 2021.

PESSOA, R. S. **Reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos:** sustentabilidade e oportunidade de negócio. 2018. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/45087>. Acesso em: 10 nov. 2022.

PORTO, W. S.; SOUZA, J. A.; CAMPOS, K. S.; FREITAS, M. A. L. Gestão do descarte de resíduos eletroeletrônicos com foco na TI Verde. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, Belém-PA, v. 7, n. 2, p.47-68, jul./dez. 2018. Disponível em: <http://revistas.unama.br/index.php/aos/article/view/907>. Acesso em: 3 maio 2021.

SANTOS, K. L. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na Macrometrópole Paulista: Normas e técnicas à serviço da logística reversa. **Ambiente & Sociedade**, [S. l.], v. 23, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/cz8zYkJGzHzHSJ48stVhM9L/?lang=pt#>. Acesso em: 10 out. 2022.

SILVA, L. A. A.; PIMENTA, H. C. D.; CAMPOS, L. M. S. **Logística Reversa dos Resíduos Eletrônico do Setor de Informática: realidade, perspectiva, e desafios na cidade do Natal-RN**. Revista Produção Online, Florianópolis-SC, v. 13, n. 2, p. 544-576, 2013. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1133/0>. Acesso em: 21 mar. 2021.

SINIR. Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Acordo Setorial de Eletroeletrônicos**. 2020. Disponível em: <https://sinir.gov.br/component/content/article/2-sem-categoria/474-acordo-setorial-deeletroeletronicos>. Acesso em: 25 out. 2022.

TANAUE, A. C. B.; BEZERRA, D. M.; CAVALHEIRO, L.; PISANO, L. C. Lixo eletrônico: agravos a saúde e ao meio ambiente. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 19, n. 3, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=26042169006>. Acesso em: 10 out. 2022.

TOCANTINS (Estado). Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos Final – PERS/TO**. Palmas-TO: SEMARH, 2017. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/224962>. Acesso em: 31 mar. 2021.

TOWNSEND, T. G. Environmental Issues and Management Strategies for Waste Electronic and Electrical Equipment. **Journal of The Air & Waste Management Association**, 6. ed., v. 61, p. 587-610, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3155/1047-3289.61.6.587>. Acesso em: 20 abr. 2021.

VEIT, H. M. **Emprego do Processamento Mecânico na Reciclagem de Sucatas de Placa de Circuito Impresso**. Porto Alegre, RS. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WATANABE, F. P.; CANDIANI, G. **Gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos em instituições de Ensino Superior**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 10, n. 5, p.170-186, 2019. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.005.0016>. Acesso em: 18 abr. 2021.

XAVIER, L. H.; CARVALHO, T. C.; **Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos**. Editora, Elsevier, Rio Janeiro, 1. ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. Disponível em: [https://issuu.com/claudiaadrianakohl/docs/gest\\_\\_o\\_de\\_res\\_\\_duos\\_eletroeletr\\_\\_n](https://issuu.com/claudiaadrianakohl/docs/gest__o_de_res__duos_eletroeletr__n). Acesso em: 20 ago. 2021.

ZENI, A. M.; MACEDO, M.; FREITAS FILHO, F. L.; HURTADO, A. L. B.; OLIVEIRA, I. L. Tecnologias para o Tratamento e Reciclagem de Resíduo Eletrônico como Práticas Sustentáveis Inovadoras. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, II. **Anais [...]**, Ponta Grossa: ABREPRO, 2012.

