

**João Victor Campos Bernardo**

**Economia circular na gestão de resíduos eletroeletrônicos: um estudo sobre  
os desafios das instituições brasileiras de coleta e reciclagem**

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do diploma  
de Engenheiro de Produção.

**São Paulo  
2023**



**JOÃO VICTOR CAMPOS BERNARDO**

**ECONOMIA CIRCULAR NA GESTÃO DE RESÍDUOS  
ELETROELETRÔNICOS: UM ESTUDO SOBRE OS DESAFIOS DAS  
INSTITUIÇÕES BRASILEIRAS DE COLETA E RECICLAGEM**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do diploma  
de Engenheiro de Produção.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Roberta de Castro  
Souza Piao

**São Paulo  
2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bernardo, João Victor Campos

Economia circular na gestão de resíduos eletroeletrônicos:  
um estudo sobre os desafios das instituições brasileiras de  
coleta e reciclagem / J. V. C. Campos. -- São Paulo, 2023.  
96 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

- 1. Resíduos eletroeletrônicos 2. Gestão de resíduos eletroeletrônicos
- 3. Lixo eletrônico 4. Desafios para empresas recicladoras 5. Economia circular I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

*A meus pais, minha irmã e à Raquel*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, minha mãe e minha irmã, por terem me criado em um ambiente com muito amor e carinho e por me incentivarem a ser a melhor versão de mim mesmo.

À Raquel, por ser meu porto seguro nos momentos mais difíceis e não me deixar desistir. Você é minha inspiração para ser esforçado e dedicado. Obrigado por tudo. Eu te amo.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia de Produção (CAEP), por ter me mostrado que a Escola Politécnica é muito mais do que provas e trabalhos. Vocês em acolheram desde o primeiro momento que pisei na faculdade e sempre estiveram presentes na minha jornada. Se não fosse o CAEP e os amigos para a vida que ele me deu, não sei o que seria da minha graduação.

Aos meus amigos da Poli, por servirem como um escape quando tudo estava prestes a explodir. Desde estudar nas mesas da Civil até os bons momentos em São Carlos, não poderia pedir por pessoas melhores para estarem do meu lado durante todos esses anos. Levarei vocês para sempre.

Aos meus colegas orientandos e amigos Marina, Luciana, Rodrigo e David Allan, por todo o suporte que vocês me deram durante o desenvolvimento deste trabalho. Ninguém solta a mão de ninguém.

Aos docentes da Escola Politécnica, que me deram as ferramentas necessárias para me tornar um engenheiro de produção.

À minha orientadora, Prof. Dra. Roberta de Castro Souza Piao, por ter aceitado me orientar durante esse último ano e pelas dicas e conselhos valiosos para construir este trabalho.

Aos entrevistados que, apesar de terem uma agenda cheia, disponibilizaram tempo para contribuir com este trabalho e enriqueceram enormemente com suas percepções sobre o assunto.



*“Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”*

Antoine-Laurent de Lavoisier



## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo explorar o processo produtivo de instituições brasileiras de coleta e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos e entender quais são os obstáculos enfrentados. Para isso, fez-se uma revisão bibliográfica a respeito do tema e então foram conduzidas sete entrevistas com seis instituições para identificar suas operações, modelos de negócio, práticas e desafios para a escalabilidade. Posteriormente, realizou-se uma análise crítica dos desafios levantados pelas instituições, buscando relacionar com pontos encontrados na literatura. Os obstáculos mais observados foram a falta de conscientização dos consumidores sobre o descarte correto dos resíduos eletroeletrônicos, a mentalidade dos consumidores de acúmulo desses equipamentos (mesmo que obsoletos), a falta de incentivos fiscais por parte do poder público para estimular a circularidade das operações das organizações, bem como sua omissão nas esferas regionais, e a ameaça do mercado informal.

**Palavras-chave:** Resíduos eletroeletrônicos; Gestão de resíduos eletroeletrônicos; Lixo eletrônico; Desafios para empresas recicladoras; Economia circular.



## ABSTRACT

This study investigates the productive process of Brazilian institutions involved in the collection and recycling of electronic waste and to understand the challenges they face. To achieve this, a literature review on the subject was first conducted, followed by seven interviews with six institutions to identify their operations, business models, practices, and challenges for scalability. Subsequently, a critical analysis of the challenges raised by the institutions was carried out, seeking to relate them to points found in the literature. The most observed obstacles were the lack of awareness among Brazilians regarding the correct disposal of electronic waste, their mindset of accumulating these devices (even if obsolete), the lack of fiscal incentives from the government, its omission at the regional level, and the threat from the informal market.

**Keywords:** Electronic waste; Electronic waste management; E-waste; Challenges for recycling companies; Circular economy.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diagrama de Borboleta .....	30
Figura 2: Composição da distribuição do <i>e-waste</i> .....	35
Figura 3: Quarto principais fontes de <i>e-waste</i> .....	35
Figura 4: Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis .....	38
Figura 5: Quadro resumo da gestão de REE na China .....	41
Figura 6: Linhas de segmentos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil .....	45
Figura 7: Caminho da reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil.....	48
Figura 8: Cadeias formais e informais de lixo eletrônico atualmente conhecidas no Brasil....	50
Figura 9: Estrutura metodológica .....	52
Figura 10: Organograma da Organização 1 .....	56
Figura 11: Linha de desmontagem de REE da Organização 2 .....	61
Figura 12: Linha de moagem da Organização 2 .....	61
Figura 13: Fluxograma da Organização 2 .....	62
Figura 14: Fluxograma da Organização 3 .....	65
Figura 15: Fluxograma da Organização 4 .....	69
Figura 16: Quantidade gerada de equipamentos recondicionados .....	70



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Cronograma para atendimento da meta percentual a ser coletada e destinada anualmente.....	46
Gráfico 2: Número de coletores da Organização 3 instalados no país .....	64



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Framework ReSolve .....	32
Tabela 2: Categorias de EEE com exemplos.....	34
Tabela 3: Países com maior geração de REE em 2019 .....	36
Tabela 4: Quadro comparativo entre países e regiões observados .....	51
Tabela 5: Entrevistas conduzidas .....	54
Tabela 6: Dados das pesquisas secundárias.....	96



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- EEE – Equipamentos eletroeletrônicos  
GMRS – Gestão municipal de resíduos sólidos  
RSM – Resíduos sólidos municipais  
ONG – Organização Não Governamental  
REE – Resíduos Eletroeletrônicos  
RBA – *Responsible Business Alliance*  
TI – Tecnologia da Informação  
CPU – *Central Processing Unit*  
SGA – Sistema de Gestão Ambiental  
SGSO – Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional  
CIT – Centro de Inovação Tecnológica  
CLT – Consolidação das Leis do Trabalho  
B2B – *Business to business*  
B2C – *Business to consumer*  
PEV – Ponto de Entrega Voluntário  
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
ONU – Organização das Nações Unidas  
IWRC – *Inclusive Waste Recycling Consortium*  
REP - responsabilidade estendida do produtor  
NSES – *National Strategy for Electronics Stewardship*  
EUA – Estados Unidos da América  
SMM – Administração Sustentável de Materiais dos EUA  
EPA – *Environmental Protection Agency*  
CRC – Centros de Recondicionamento de Computadores  
UE – União Europeia

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	24
1.1	Contextualização .....	24
1.2	Motivação.....	24
1.3	Objetivos .....	25
1.4	Estrutura .....	25
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	27
2.1	Economia Circular .....	27
2.2	Gestão de resíduos eletroeletrônicos no mundo.....	34
2.2.1	China .....	40
2.2.2	Estados Unidos da América .....	41
2.2.3	Índia .....	42
2.2.4	Japão.....	43
2.2.5	União Europeia .....	43
2.3	Gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil .....	44
3	METODOLOGIA .....	52
3.1	Etapas da pesquisa .....	52
3.2	Coleta de Dados .....	53
4	RESULTADOS.....	55
4.1	Organizações entrevistadas .....	55
4.1.1	ONGs .....	55
4.1.2	Empresas .....	58
4.1.3	Cooperativas.....	70
4.2	Desafios relatados .....	73
4.2.1	Desafios nas ONGs .....	73
4.2.2	Desafios nas empresas .....	75
4.2.3	Desafios nas Cooperativas .....	84
5	CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES .....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	89
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DAS ENTREVISTAS – EMPRESAS COLETORAS E TRATADORAS DE RESÍDUOS .....	94
	APÊNDICE B – PESQUISA SECUNDÁRIA .....	96



## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma introdução deste trabalho de formatura, explicitando a contextualização do tema abordado, a motivação por trás dele, seus principais objetivos e a sua estrutura.

### 1.1 Contextualização

Segundo o relatório The Global E-waste Monitor 2020 (FORTI *et al.* 2020), houve uma produção mundial de 53,6 milhões de toneladas em 2019 de resíduos eletroeletrônicos, que são definidos “itens de todos os tipos de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) e suas partes que foram descartadas pelo proprietário como lixo, sem intenção de reutilização” (STEP INITIATIVE, 2014), e é estimado que a produção desses resíduos aumente para 74,7 milhões de toneladas até 2030.

A relevância dos resíduos eletroeletrônicos está relacionada a dois pontos: seu valor agregado pela presença de materiais preciosos como alumínio, cobre, ferro e ouro – as 53,6 Mt de resíduos em 2019 representou um valor de aproximadamente U\$57 bilhões – e sua toxicidade caso descartado de forma incorreta visto que esses equipamentos possuem substâncias tóxicas em seus componentes, como chumbo, mercúrio, cádmio e cromo, que podem causar problemas respiratórios, danos ao sistema nervoso, câncer, entre outros. (KIDDEE, 2013).

Em 2019, o Brasil foi o quinto maior produtor de resíduos eletroeletrônicos do mundo com 2,143 milhões de toneladas (FORTI *et al.* 2020) e estima-se que, desde 2013, o país tem uma taxa de coleta e reciclagem formal de apenas 2% logo grande parte é descartado incorretamente no ambiente e uma parte considerável é absorvida pelo mercado informal, que retira os componentes preciosos dos equipamentos e descarta o restante incorretamente (SOUZA, 2020).

### 1.2 Motivação

A motivação vem pelo interesse do autor em equipamentos da linha verde, como *smartphones*, *notebooks* e *desktops*, bem como por seus avanços tecnológicos. Com os lançamentos cada vez mais rápidos de aparelhos mais tecnológicos, percebeu que, em sua casa, havia diversos dispositivos eletrônicos guardados e sem utilidade. Então, perguntou-se quais seriam os possíveis destinos desses objetos que lhe foram úteis no passado.

Tendo a oportunidade de fazer um estudo aprofundado sobre o tema, o aluno investigou como se dá a dinâmica de descarte desses resíduos e entendeu que Economia Circular é um modelo que se encaixa, mas que no Brasil ainda tem muito espaço para crescer.

### **1.3 Objetivos**

O trabalho tem como objetivo:

1. Investigar os obstáculos para as organizações coletoras e recicadoras que justifiquem a baixa taxa de coleta e reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos

### **1.4 Estrutura**

O presente trabalho está estruturado em quatro capítulos, além desta introdução. O segundo capítulo traz uma revisão da literatura a respeito do tema estudado, trazendo conceitos da Economia Circular, explorando a relevância dos resíduos eletroeletrônicos e como é feita sua gestão no mundo e no Brasil. O terceiro capítulo traz a metodologia utilizada para a coleta dos dados empíricos. O quarto capítulo apresenta a descrição dos resultados, através da descrição das organizações entrevistadas e dos obstáculos enfrentados que foram discutidos durante a entrevista. O quinto capítulo traz as conclusões desse estudo e possibilidades de pesquisas futuras.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo traz uma revisão da literatura acerca dos conceitos da economia circular, da gestão de resíduos eletroeletrônicos no mundo e no Brasil e quais são os obstáculos observados.

### 2.1 Economia Circular

O conceito de economia circular vem sendo discutido em diferentes contextos ao longo do tempo. A definição mais antiga de economia circular encontrada na literatura refere-se a economia de desempenho, que é “um sistema integral regenerativo no qual o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia durante o maior tempo possível, e a geração de recursos é minimizada” (STAHEL, 1976 apud CHARTER, 2019). Assim, a economia circular se contrapõe ao sistema linear tradicional de produção e consumo onde os produtos são fabricados, consumidos e, em seguida, descartados como resíduos, sendo assim um sistema que visa eliminar a ideia de desperdício e que projeta os produtos de forma que os materiais possam ser continuamente reutilizados, reciclados ou compostados, sem perder seu valor ou qualidade (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002 apud ORMAZABAL et al., 2018).

O termo economia circular foi utilizado pela primeira vez pelos economistas e ambientalistas britânicos David W. Pearce e R. Kerry Turner. Os pesquisadores argumentavam que tudo é um *input* para tudo, o que dialoga com os conceitos da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> lei da Termodinâmica, em que “nenhuma energia e matéria pode ser criada ou destruída” e “é impossível um sistema ter 100% de eficiência” (PEARCE; TURNER, 1990, apud RIZOS et al., 2017) gerando assim resíduos.

Essa ideia também está presente no conceito de *Cradle to Cradle* (MCDONOGH; BRANGART, 2002), ou de berço a berço, onde os produtos devem ser vistos como insumos que podem ser continuamente reciclados e reutilizados, em vez de serem descartados como resíduos, que contrasta o modelo tradicional de “*Cradle to Grave*” (Toxopeusa et al, 2015), ou de berço ao túmulo, onde os produtos são produzidos, usados e descartados, resultando em poluição e desperdício. Ainda abordando o *Cradle to Cradle*, William McDonough e Michael Bragnart utilizaram

uma outra maneira de se ver a economia circular. Para os autores a economia circular pode ser vista como um novo modelo de produção baseado na ideia de que os materiais utilizados na confecção dos produtos devem circular continuamente, tanto como nutrientes biológicos positivos para o meio ambiente quanto como materiais técnicos reciclados para a indústria (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002 apud ORMAZABAL et al., 2018).

Com o passar dos anos, a literatura foi se aprimorando a respeito do assunto e surgiram vários conceitos de economia circular que estão detalhados na Tabela 1.

Com o passar dos anos, a literatura foi se aprimorando a respeito do assunto e surgiram vários conceitos da economia circular, conforme analisou Gureva. Entre 2004 e 2009, a economia circular foi introduzida como uma alternativa ao modelo linear, buscando separar o crescimento econômico do consumo de recursos não-renováveis. Obras como *The Waste and Resources Action Programme* e autores como Wen *et al.* destacaram a importância de resolver problemas de desenvolvimento sustentável e adotar atividades de produção, distribuição e consumo baseadas na conservação de recursos.

Durante o período de 2010 e 2014, a economia circular evoluiu para uma estratégia política destinada a reduzir escassez de recursos e poluição. Autores como Geng; Doberstein e Zhu *et al.* enfatizaram a busca por desenvolvimento econômico contínuo sem criar impactos ambientais significativos. A eficiência material e energética tornou-se um objetivo central.

Entre 2015 e 2018, a ONU e autores como Jiao e Kirchherr introduziram a ideia de fechamento de ciclos, mantendo o valor agregado em produtos e eliminando desperdícios. A economia circular foi descrita como uma estratégia simples, porém convincente, visando reduzir a entrada de materiais virgens e a saída de resíduos. Destacou-se a importância de uma abordagem holística, abrangendo atividades de redução, reutilização e reciclagem.

Dessa forma, como pontos em comum sobre esses períodos, é possível destacar a ênfase na redução do desperdício e na maximização do valor dos produtos, a busca por eficiência material e energética e formulação de estratégias para resolver desafios ambientais e promover o desenvolvimento sustentável. Como diferenças nos enfoques, citam-se as abordagens políticas e econômicas variadas e as diferentes

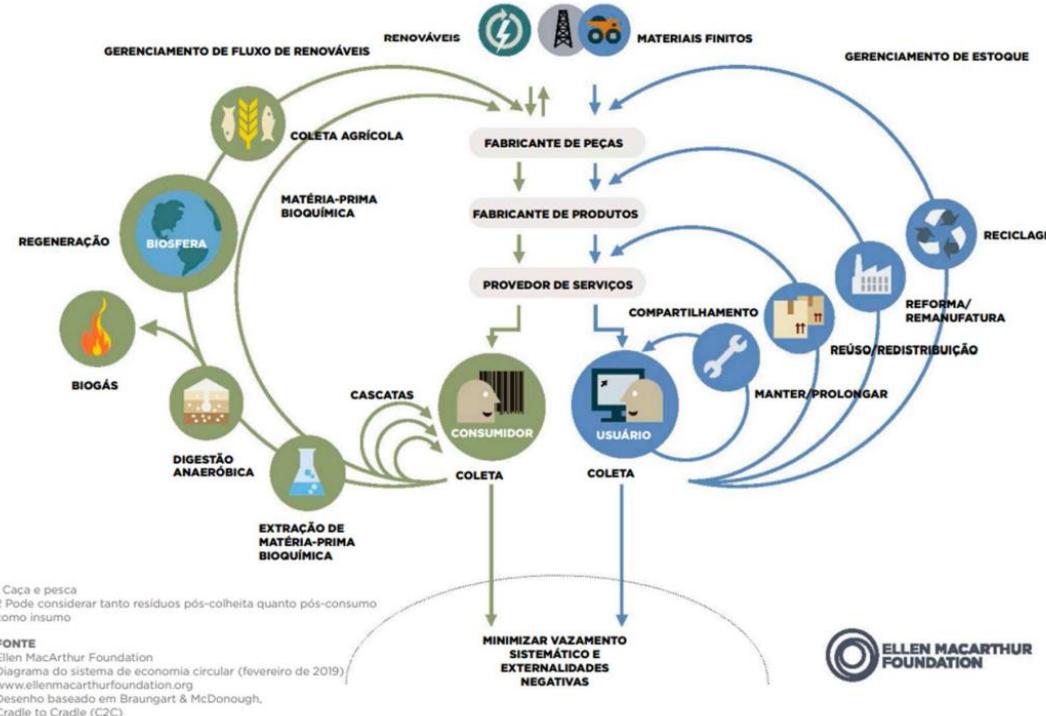
ênfases na maximização do valor, fechamento de ciclos e estratégias para lidar com escassez de recursos.

Dessa forma, mesmo a Economia Circular tenta muita relevância no cenário político, econômico e social, o conceito sobre o que é Economia Circular pode ser proposto a partir de diferentes perspectivas.

Uma das instituições mais importantes no contexto da economia circular é a Fundação Ellen MacArthur, que define economia circular como um modelo econômico regenerativo e restaurativo por design, utilizando os princípios de projetar resíduos e poluição, de forma a regenerar o capital natural e manter os produtos e materiais dentro do ciclo (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2013).

Uma forma de visualizar o conceito da economia circular e como ela opera na prática é o Diagrama de Borboleta (Figura 1), desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur. Ele foi introduzido pela primeira vez no relatório “*Towards the Circular Economy*” (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2013) e é uma representação gráfica que se baseia em três princípios: preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando fluxos de recursos renováveis, representado no topo do diagrama; otimizar o rendimento dos recursos pela circulação dos produtos, componentes e materiais na máxima utilidade tanto em aspectos técnicos quanto em ciclos biológicos, representado no meio do diagrama; promover a eficácia do sistema que minimizem as externalidades negativas, representado na parte inferior do diagrama.

Figura 1: Diagrama de Borboleta



No topo do Diagrama de Borboleta (Figura 1), há uma distinção de recursos renováveis e finitos, sendo que os primeiros têm a capacidade de se decomporem e os últimos não se decompõem, necessitando um tempo de vida útil prolongado.

O meio do diagrama conta com duas asas, sendo a da esquerda referente à gestão do fluxo de renováveis, representando os ciclos biológicos, e a da direita à gestão de estoques, representando os ciclos técnicos. A asa do fluxo de renováveis ressalta a importância da utilização de recursos renováveis na economia circular e destaca a necessidade da utilização sustentável de recursos naturais, como energia renovável, água e materiais biológicos. Ainda, a gestão eficiente desse fluxo contribui para a redução da pegada ambiental e promove a regeneração dos sistemas naturais.

A asa da gestão de estoques concentra-se na utilização ao máximo do valor dos estoques de materiais existentes na economia, dando ênfase para a importância de manter e otimizar o uso dos estoques por meio da reutilização, remanufatura e reciclagem. Ademais, a gestão eficiente desse fluxo reduz a demanda por matéria prima e o desperdício, criando uma economia mais circular e sustentável.

Por fim, no centro do diagrama, onde as asas se encontram, há um ponto de convergência que representa o equilíbrio e a integração harmoniosa entre a gestão

dos fluxos renováveis e de estoques, o que é essencial para a promoção de uma economia circular eficiente.

Em relação aos benefícios que a economia circular traz para a sociedade e para o meio ambiente, o que se observa nos estudos é uma maior eficiência dos recursos, criação de empregos e redução de resíduos, visto que a economia circular incentiva a fabricação de produtos mais duráveis e que podem ser reutilizados, reparados e atualizados. Isso traz como resultado uma maior eficiência dos recursos, pois a vida útil incrementada dos produtos reduz a necessidade de extrair e fabricar novos materiais e estimula a criação de empregos na área de reparo e serviços relacionados à manutenção dos produtos (STAHEL, 2010). Além disso, a otimização do uso de recursos resulta em uma maior eficiência energética e na redução das emissões de gases de efeito estufa (WEBSTER, 2021).

Há também a exposição de benefícios econômicos ao transicionar para a economia circular, visto que ela pode reduzir os custos de matéria prima para as empresas por meio do aproveitamento de materiais existentes e reciclados ao invés de extrair novos recursos (MACARTHUR *et al*, 2013). Ainda no âmbito econômico, a redução do desperdício e a maximização do valor dos materiais e produtos podem resultar numa economia mais eficiente e rentável, pois a transformação de resíduos em novos recursos reduz o custo de eliminação de resíduos e cria um novo canal de receitas com a venda de subprodutos (KIRCHHERR *et al*, 2016). Outro ponto positivo econômico para as empresas é a reputação que elas ganham com os clientes ao se utilizar a economia circular, visto que a sustentabilidade é um aspecto cada vez mais relevante para o consumidor moderno (STUCHTEY *et al*, 2021).

Apesar dos diversos benefícios citados, não se ignora que há uma série de desafios que precisam ser enfrentados. Um dos principais obstáculos abrange a questão conceitual, visto que não há uma definição clara e consensual da economia circular, e diferentes interpretações e abordagens podem levar a desafios na implementação prática (KIRCHHERR *et al*, 2017).

Outro desafio relevante na adoção da economia circular permeia a mudança cultura e a mentalidade do consumidor, visto que a economia circular necessita que seja superada a estrutura de usar e descartar (GEISSDOERFER *et al*, 2017), o que exige educação, conscientização, engajamento da sociedade (SU *et al*, 2013) e

mostrar ao consumidor a dinâmica de compartilhamento de produtos, visto que eles estão acostumados à posse individual de bens (TUKKER, 2015).

Existe também a questão de complexidade de implementação da circularidade, pois isso requer mudanças em toda a cadeia de valor, desde o design do produto até a gestão de resíduos, o que implica em superar barreiras técnicas, logísticas, organizacionais (KIRCHHERR *et al*, 2017), financeiras e tecnológicas, o que pode ser um grande desafio para empresas de pequeno e médio porte (GHISELLINI *et al*, 2016). E também, a implementação da economia circular envolve a coordenação de diversos atores ao longo da cadeia de valor, indo desde os funcionários até o consumidor e gerenciar essa complexidade também é desafiador (GEISSDOERFER *et al*, 2017).

Outro obstáculo observado está na esfera de legislação e regulamentação, visto que a transição para a economia circular exige políticas e regulamentações adequadas que promovam a reciclagem, reutilização, redução do consumo de recursos (GHISELLINI *et al*, 2016), incentivos e padrões de qualidade, sendo que a falta de uma legislação adequada pode dificultar a adoção de práticas circulares (SU *et al*, 2013).

Com o propósito de auxiliar empresas atuais a atingir os três princípios intrínsecos do Diagrama de Borboleta, a Fundação Ellen MacArthur em parceria com a consultoria McKinsey desenvolveram a ferramenta ReSolve (tabela 1). Essa ferramenta gera estratégias circulares e iniciativas de crescimento para as empresas segundo seis ações: regenerar (*regenerate*), compartilhar (*share*), otimizar (*optimize*), ciclo (*loop*), virtualizar (*virtualise*) e trocar (*exchange*) (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR; SUN; MCKINSEY & CO, 2015).

Tabela 1: Framework ReSolve

Regenerar <i>(Regenerate)</i>	Mudar para energias e materiais renováveis
	Recuperar, reter e restaurar a saúde dos ecossistemas
	Devolver recursos biológicos recuperados para a biosfera
Compartilhar <i>(Share)</i>	Compartilhar ativos (por exemplo: carros, quartos, eletrodomésticos)
	Reutilizar/segunda-mão
	Prolongar a vida útil por meio da manutenção, design para durabilidade, capacidade de atualização etc.
Otimizar <i>(Optimize)</i>	Aumentar o desempenho/eficiência do produto
	Remover o desperdício na produção e na logística
	Alavancar Big Data, automação, sensoriamento remoto e direção

Ciclo ( <i>Loop</i> )	Remanufaturar produtos ou componentes
	Reciclar materiais
	Digerir anaerobicamente
	Extrair produtos bioquímicos de resíduos orgânicos
Virtualizar ( <i>Virtualise</i> )	Desmaterializar diretamente (por exemplo: livros, CDs, DVDs, viagens)
	Desmaterializar indiretamente (por exemplo: compras online)
Trocar ( <i>Exchange</i> )	Substituir material antigo por materiais avançados não renováveis
	Aplicar novas tecnologias (por exemplo: impressão 3D)
	Escolher um novo produto/serviço (por exemplo: transporte multimodal)

Fonte: Fundação Ellen MacArthur *et al* (2015)

Nota: traduzido pelo autor

A ação Regenerar se refere à regeneração e restauração do capital natural, envolvendo práticas de gestão que promovem a regeneração dos recursos naturais utilizados nos processos produtivos, tanto na proteção quanto na preservação dos ecossistemas (RANIGA, 2019).

A ação Compartilhar se refere ao compartilhamento de recursos e produtos, incentivando a transição de um modelo de propriedade única para o uso compartilhado de recursos, num ambiente de economia compartilhada (RANIGA, 2019).

A ação otimizar visa otimizar a utilização dos recursos, de modo a maximizar a eficiência e produtividade dos recursos no processo produtivo, aumentar a vida útil dos produtos e minimizar o desperdício e as perdas ao longo da cadeia produtiva (RANIGA, 2019).

Na ação de Ciclo, a característica que prevalece é manter os produtos e materiais em ciclo, por meio da utilização de designs e sistemas que permitam a recuperação, reutilização, reciclagem e regeneração dos materiais, diminuindo a geração de resíduos (RANIGA, 2019).

No Virtualizar, há a substituição de produtos, serviços e localizações físicas por serviços e localizações virtuais sempre que possível, reduzindo a necessidade de extração de recursos e consumo de materiais (RANIGA, 2019).

Por fim, a ação Troca envolve a troca de recursos e materiais entre empresas e setores, criando modelos de negócios que promovam a troca de subprodutos, resíduos ou recursos entre diferentes organizações, resultando na maximização do valor desses recursos (RANIGA, 2019).

## 2.2 Gestão de resíduos eletroeletrônicos no mundo

Equipamentos eletroeletrônicos são produtos que possuem circuitos ou componentes elétricos que possuem alguma força eletromotriz ou bateria (STEP INITIATIVE 2014). Dessa forma, esses equipamentos vão desde produtos domésticos, como eletrodomésticos, brinquedos e aparelhos multimídia, até tecnologias de informação e comunicação (TIC), como aparelhos celulares e notebooks (FORTI *et al*, 2020).

Assim, é possível classificar os diferentes tipos de eletroeletrônicos em seis categorias, conforme retrata a tabela 2:

Tabela 2: Categorias de EEE com exemplos

Categoria 1: Equipamentos de troca de temperatura	Equipamentos de refrigeração, como geladeiras, freezers, ar-condicionado e bombas de calor
Categoria 2: Telas, monitores, equipamentos que contém telas	Televisões, monitores, laptops e tablets
Categoria 3: Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED
Categoria 4: Equipamentos grandes	Máquinas de lavar e secadoras, lava-louças, impressoras grandes e painéis fotovoltaicos
Categoria 5: Equipamentos pequenos	Aspiradores de pó, micro-ondas, equipamentos de ventilação, torradeiras, chaleiras elétricas, barbeadores elétricos, balanças, brinquedos elétricos, pequenos dispositivos médicos e instrumentos de controle
Categoria 6: Equipamentos pequenos de TIC	Celulares, computadores, impressoras, <i>video games</i> , calculadoras e outros equipamentos de TI.

Fonte: BALDÉ, 2022

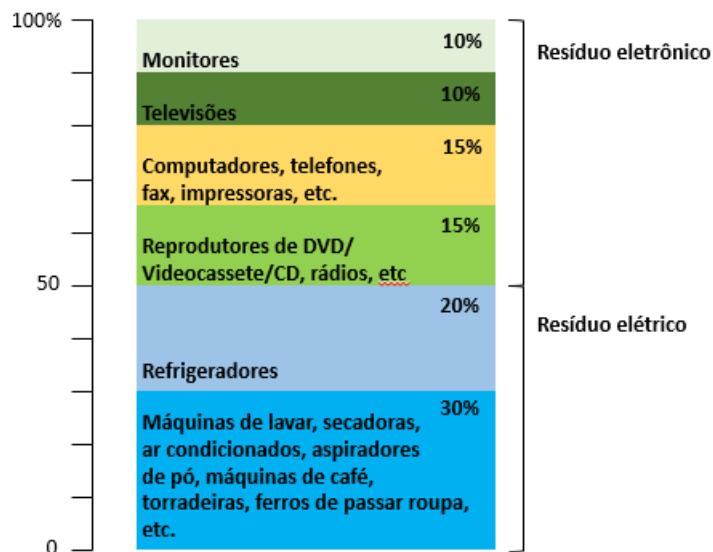
Dessa forma, o descarte de resíduos eletrônicos, ou *e-waste*, pode ser definido como “termo usado para abranger itens de todos os tipos de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) e suas partes que foram descartadas pelo proprietário como lixo, sem intenção de reutilização” (STEP INITIATIVE, 2014).

Com o avanço incessante de tecnologias mais rápidas e confiáveis, o ciclo de vida desses produtos apresenta queda nos últimos anos, visto que os consumidores buscam equipamentos mais novos e avançados em termos de tecnologias, descartando os considerados obsoletos (KUMAR *et al*, 2017). Assim, o consumo e,

consequentemente, o descarte de equipamentos eletroeletrônicos cresce exponencialmente e quando eles atingem o fim do ciclo de vida, somado ao fato de haver poucas opções de reparo, eles devem ser descartados e se tornam resíduo eletrônico (SHITTU *et al*, 2021).

Com relação à composição do que é descartado nessa categoria de resíduos, metade dos descartes da média mundial são originários de eletrodomésticos e o resto são de produtos eletrônicos, como monitores, televisões e celulares (KAYA, 2016). A figura 2 detalha essa composição e a figura 3 detalha as principais fontes de resíduos.

Figura 2: Composição da distribuição do *e-waste*



Fonte: KAYA, 2016.

Nota: Traduzido pelo autor

Figura 3: Quatro principais fontes de *e-waste*

Casa	Hospitais	Governo	Setor Privado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC</li> <li>• TV</li> <li>• Radio</li> <li>• Celular</li> <li>• Máquina de lavar</li> <li>• Micro-ondas</li> <li>• Reprodutor de CD</li> <li>• Ventilador</li> <li>• Ferro de passar roupa etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC</li> <li>• Monitor</li> <li>• Dispositivo de ECG</li> <li>• Microscópio</li> <li>• Incubadora</li> <li>• Máquina de raio X etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC</li> <li>• CPU</li> <li>• Impressora</li> <li>• Fax</li> <li>• Copiadora</li> <li>• Scanner</li> <li>• Ventilador</li> <li>• Tubo de luz etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC</li> <li>• Caldeira</li> <li>• Misturador</li> <li>• Condicionador de sinal</li> <li>• Incubadora etc.</li> </ul>

Fonte: KAYA, 2016.

Nota: Traduzido pelo autor

O resíduo eletrônico é uma das categorias que mais crescem (BALDE *et al*, 2015). Desde 2014, o consumo de equipamentos eletroeletrônicos – sem contar placas de painéis fotovoltaicos – cresceu, em média, 2,5 milhões de toneladas métricas por ano. Em 2019, foram gerados 53,6 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos no mundo, resultando numa média de 7,3 kg por pessoa. A região que mais gerou REE foi a Ásia (24,9 Mt), seguido de Américas (13,1 Mt), Europa (12 Mt), África (2,9 Mt) e Oceania (0,7 Mt). A previsão para 2030 é que o número global passe para 74,7 milhões de toneladas (FORTI *et al*, 2020). Em 2019, os cinco países que mais produziram resíduos eletroeletrônicos foram China (10,1 mil toneladas), Estados Unidos (6,9 mil toneladas), Índia (3,2 mil toneladas) Japão (2,6 mil toneladas) e Brasil (2,1 mil toneladas) (FORTI, 2020). A tabela abaixo ilustra os dados citados:

Tabela 3: Países com maior geração de REE em 2019

País	Quantidade gerada de REE (kt) (2019)
China	10,1
EUA	6,9
Índia	3,2
Japão	2,6
Brasil	2,6

Fonte: FORTI (2020).

Além do crescimento do consumo e consequente descarte desses equipamentos ao longo dos anos, a importância de olhar para a disposição dos resíduos eletroeletrônicos também está relacionada aos seus impactos quando são descartados de forma irregular. O descarte inapropriado é reconhecido como uma fonte de poluição ambiental perigosa e pode resultar na emissão de substâncias químicas nocivas, o que pode levar à contaminação ambiental, alimentar e da água, representando riscos para a saúde das pessoas que vivem próximas às áreas de reciclagem de EEE (GRANT, 2013). Isso ocorre porque esses equipamentos possuem substâncias tóxicas em seus componentes, como chumbo, mercúrio, cádmio e cromo (KIDDEE, 2013), além de poluentes orgânicos persistentes (POPs) como

retardadores de chama bromados (BFRs), dioxionas, furanos e bifenilos policlorados (PCBs) (GRANT, 2013). Alguns dos impactos na saúde incluem problemas respiratórios, danos ao sistema nervoso, câncer, distúrbios hormonais, danos ao fígado e aos rins, ao sistema cardiovascular e ao sistema reprodutivo (KIDDEE, 2013).

O tempo necessário para que os resíduos se tornem prejudiciais para o meio ambiente e para o ser humano pode variar dependendo dos componentes presentes nos materiais e das condições ambientais. Alguns componentes tóxicos, como os POPs, têm meias-vidas longas, o que significa que podem persistir no ambiente por décadas ou até mesmo séculos. Essas substâncias podem se acumular nos tecidos vivos ao longo do tempo, representando riscos para a saúde humana e o meio ambiente. No entanto, nem todos os resíduos eletrônicos se tornam imediatamente tóxicos após o descarte. Alguns componentes podem levar mais tempo para se degradar e liberar substâncias tóxicas e a toxicidade também pode depender das condições ambientais em que os resíduos são depositados, como a presença de umidade, calor e outros fatores que podem acelerar ou retardar a liberação de substâncias tóxicas (GRANT, 2013).

Em 2016, houve um potencial de ser gerado 55 bilhões de euros a partir dos 44.7 milhões de toneladas métricas de resíduos eletroeletrônicos (YANG, 2021) e em 2019, foi estimado que o valor dos materiais recuperáveis presentes nos resíduos eletroeletrônicos foi de cerca de US\$ 57 bilhões, correspondendo a 25 milhões de toneladas desses metais considerados valiosos e críticos (FORTI, 2020).

No entanto, mesmo apresentando aspectos relevantes para que haja uma reciclagem correta desses equipamentos, sua taxa de recuperação é baixa. Em 2016, apenas 20% dos resíduos eletroeletrônicos foram reciclados corretamente no mundo e o restante encontrou três destinos: aterros sanitários, incineração ou exportação para países em desenvolvimento (YANG, 2021). Em 2019, apenas 17,4% dos resíduos eletrônicos gerados foram oficialmente coletados e recebidos adequadamente (FORTI, 2020).

Aumentar e incentivar a coleta e gestão dos REE contribui diretamente para o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), a chamada Agenda 2030, lançada pela Organização das Nações Unidas (ONU) durante a Cúpula

das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015. Esses objetivos são “*um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade*” (ONU, 2015). A Agenda 2030 é constituída por 17 objetivos, desdobrados em 169 metas a serem atingidos até 2030. A figura abaixo ilustra esses objetivos.

Figura 4: Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis



Fonte: ONU

A gestão de REE está diretamente relacionada com os objetivos 3, 8, 11, 12, e 14 conforme detalhado abaixo (Forti, 2020).

- ODS 3: Saúde e Bem-Estar – Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades.
- ODS 8: Trabalho decente e crescimento econômico – Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos.
- ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis – Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

- ODS 12: Consumo e produção responsáveis – Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis.
- ODS 14: Vida na água – Conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável

Existem quatro cenários diferentes para a gestão de resíduos eletrônicos (BALDÉ, 2017). O primeiro é o cenário de coleta formal, em que os resíduos são coletados por organizações designadas, produtores e/ou pelo próprio governo, por meio de varejistas, pontos de coleta municipais e/ou serviços de *pick-up*. Depois de coletado, o lixo eletrônico é levado para uma unidade de tratamento especializado, recuperando os metais valiosos e gerenciando as substâncias tóxicas, sendo o restante incinerado ou aterrado.

O segundo cenário é o de descarte em lixeiras. Aqui, o proprietário do lixo eletrônico descarta diretamente em lixeiras normais, junto com outros resíduos domésticos, fazendo com que os descartes eletrônicos sejam tratados junto dos regulares, sendo incinerados ou aterrados sem reciclagem dos materiais. Nesse caso, não há recuperação dos materiais e nem tratamento das substâncias tóxicas.

O terceiro cenário é de coleta fora dos sistemas formais, em países que possuem um sistema de gestão de resíduos eletroeletrônicos desenvolvido. Nesse caso, os países desenvolveram regulações para gerenciamento de resíduos e o lixo eletrônico é coletado por revendedores individuais ou por empresas e é então comercializado. Os destinos mais comuns para os resíduos eletroeletrônicos são a reciclagem de metal e plástico, mas normalmente não há o tratamento das substâncias nocivas.

Por fim, o quarto cenário é de coleta fora dos sistemas formais, em países sem gestão de resíduos eletroeletrônicos desenvolvida. É o caso da maioria dos países em desenvolvimento, em que um número significativo de trabalhadores autônomos e informais realiza a coleta e reciclagem desses resíduos. Eles compram ou coletam o lixo de residências, empresas e instituições públicas e revendem para serem consertados ou desmontados. Assim, os que desmontam o equipamento fazem isso manualmente em componentes e materiais comercializáveis e os que reciclam queimam, lixiviam e derretem os resíduos de forma não regulamentada, convertendo-

os em matérias primas secundárias e resultando em consequências ambientais e à saúde.

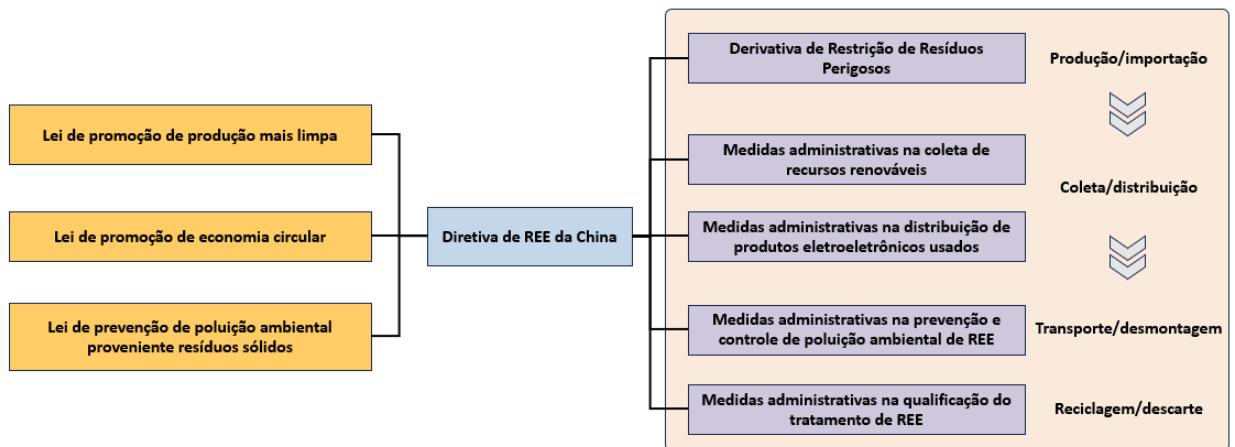
A seguir, será feita uma análise sobre como é feita a gestão dos resíduos nos países que mais o produzem. São eles China, EUA, Índia, Japão e Brasil). Além disso, também são destacadas as regiões no mundo onde as taxas de coleta e reciclagem são consideradas referência.

### **2.2.1 China**

A coleta de lixo na China é realizada tanto por coletores informais que percorrem as ruas em triciclos elétricos para coletar os resíduos, quanto por meio de um modelo de coleta baseado em sites da internet, que envolve recicladores, produtores de eletrônicos e empresas de internet. O reuso do lixo eletrônico é realizado principalmente pelo setor informal, que desempenha um papel importante na separação de componentes de materiais ou itens inteiros para reutilização (SONG, 2019).

Com relação a legislações para diminuir a atuação do setor informal e alavancar o formal, a China emitiu regulamentações de REE que cobrem cinco tipos de eletrodomésticos (televisores, refrigeradores, condicionadores de ar, máquinas de lavar e computadores) e estão focadas nos princípios de responsabilidade estendida do produtor (REP), que é uma prática e abordagem política na qual os fabricantes assumem a responsabilidade pela gestão do descarte dos produtos que produz., uma vez que os produtos são considerados sem utilidade pelos consumidores (SURAK, 2023), poluidor-pagador, princípio onde quem for responsável pela geração de poluição deve assumir os custos associados ao seu controle, visando prevenir danos à saúde humana ou ao meio ambiente (WARD, 2012) e 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar). A figura abaixo resume o quadro legislativo da gestão de REE no país (SONG, 2019).

Figura 5: Quadro resumo da gestão de REE na China



Fonte: SONG (2019)

Outro mecanismo que a China utiliza para incentivar a melhoria da gestão de seus REE é o *Fund Policy* e foi a primeira vez que um mecanismo de mercado foi adotado em vez de meios administrativos para a reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos em um país em desenvolvimento. A política é baseada em um fundo de reciclagem de REE, que fornece subsídios para plantas licenciadas de tratamento de resíduos que fazem a desmontagem e a reciclagem. Além disso, a política também regula a coleta dos resíduos por meio do preço oferecido aos seus detentores como meio de regulação. Contudo, a política ainda precisa ser aprimorada, visto que há desafios como procedimento iterativo de auditoria de fundos que desperdiça recursos governamentais em abundância, a demora no pagamento de subsídios e o desequilíbrio entre a arrecadação de fundos e os subsídios (SONG, 2019).

## 2.2.2 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos a gestão de REE varia entre estados, uma vez que não há legislação federal específica sobre esse tipo de resíduo. Como exemplo, a Califórnia adotou, em 2003, um sistema de gestão que atribuiu a responsabilidade financeira aos consumidores desses equipamentos pelo manejo no fim da vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos. O estado de Maine segue uma abordagem baseada na REP em 2004, estabelecendo uma lei específica para resíduos eletrônicos que

envolve todos os interessados (produtor, consumidor e poder público) e a responsabilidade compartilhada da gestão dos REE. (SHITTU, 2020).

Outro exemplo de iniciativas e esquemas voltados para a gestão é o *National Strategy for Electronics Stewardship* (NSES), que promove a gestão ambientalmente segura no final da vida útil dos resíduos eletrônicos, reduzindo as exportações para países em desenvolvimento e incentivando ações como o eco-design na fabricação de eletrônicos. O NSES tem sido amplamente adotado para o desenvolvimento de planos de ação para a gestão de resíduos eletrônicos em diferentes estados dos EUA (SHITTU, 2020).

Outra iniciativa é o programa de Administração Sustentável de Materiais (SMM), gerenciado pela *Environmental Protection Agency* (EPA), que envolve parcerias entre a EPA e fabricantes de equipamentos para a coleta dos REE dos consumidores. Além disso, o programa defende a compra de eletrônicos certificados como “verdes”, especialmente por agências federais, e a reciclagem dos REE gerados em instalações de reciclagem certificadas, mesmo em estados sem regulamentações específicas para a devolução desses resíduos (SHITTU, 2020).

Por fim, os dois programas mais relevantes de certificação dos REE no país são o Padrão de Reciclagem Responsável para Recicladores Eletrônicos (R2), administrado pela *Sustainable Electronics Recycling International* (SERI), e o programa de certificação E-Stewards, do *Basel Action Network* (BAN). Ambos concedem credenciamento a instalações de reciclagem eletrônica, sujeitas a auditorias e ao cumprimento de créditos estabelecidos e mais de 500 recicladores no país são credenciados por um ou ambos os programas (SHITTU, 2020).

### **2.2.3 Índia**

A gestão de resíduos eletrônicos na Índia é limitada devido à falta de know-how e infraestrutura compatível para o tratamento adequado de *e-waste*. O setor informal de reciclagem sobrevive dentro de um quadro legislativo flexível, enquanto os recicladores formais possuem grandes instalações de tratamento de *e-waste*, porém insuficientes em relação à quantidade de resíduos gerados. Isso resulta em 95% dos resíduos eletrônicos sendo tratados por recicladores informais, que utilizam

práticas não regulamentadas e que podem ser prejudiciais a eles mesmos e ao meio ambiente (VATS, 2014).

#### **2.2.4 Japão**

No caso do Japão, o gerenciamento do *e-waste* é marcado pela presença de vendedores ambulantes e do setor informal, que oferecem aos consumidores a conveniência e incentivos econômicos para descartar seus resíduos eletrônicos de maneira inadequada. Esses terceiros geralmente recuperam metais preciosos, do *e-waste* antes de descartá-lo de maneira inadequada, resultando em danos ambientais significativos. O governo japonês tem investido na criação da infraestrutura necessária para processar e gerenciar o *e-waste*, mas as pessoas podem perceber uma perda financeira ao pagar taxas de reciclagem, o que pode afetar sua motivação para participar da reciclagem (DHIR, 2021).

#### **2.2.5 União Europeia**

Os 25 países que compõem a União Europeia têm implementado diversas regulamentações relacionadas aos REEE, com o objetivo de "preservar, proteger e melhorar a qualidade do meio ambiente, proteger a saúde humana e utilizar recursos de forma prudente e racional" (EUROPEAN COMISSION, 2003). A principal ênfase da diretiva inclui a recuperação, reciclagem e reutilização de resíduos eletrônicos.

De acordo com a Comissão Europeia, os produtores devem obedecer a taxas mínimas de recuperação (70-80% em peso) e taxas de "reutilização e reciclagem de componentes, materiais e substâncias", dependendo do tipo de resíduo eletrônico. A implementação dessas regulamentações variou entre os países, com alguns, como Holanda e Grécia, agindo precocemente, enquanto outros, sem sistemas prévios de gerenciamento de resíduos, solicitaram prazos mais longos para implementação. As razões para os atrasos incluem a transferência de regulamentos anteriores, em países como Áustria, Bélgica, Dinamarca, Suécia e Luxemburgo e negociações com as partes interessadas sobre responsabilidades no processo, como na França (Magalini e Huisman, 2007).

O objetivo de coleta estabelecido era de 4 kg por habitante por ano, ou a média de coleta de REE nos últimos 3 anos, o que fosse maior. Esse objetivo aplicava-se uniformemente a todos os estados membros, independentemente da quantidade gerada de REE ou da sofisticação de seus sistemas de gerenciamento. Estados membros com uma geração de 20 kg/habitante/ano atingiram a meta de coleta de 4 kg/habitante/ano, enquanto novos estados membros enfrentaram desafios devido a sistemas de gerenciamento mais recentes e pontos de melhoria, bem como uma baixa geração per capita (Ylä-Mella e Román, 2019).

Na União Europeia, existe uma infraestrutura de gerenciamento de resíduos eletrônicos altamente desenvolvida e em conformidade. Essa infraestrutura visa coletar resíduos eletrônicos em lojas e municípios por meio de operadores privados, além de recuperar os componentes recicláveis dos resíduos eletrônicos coletados e descartar os resíduos restantes de maneira compatível e ecologicamente correta. Isso foi estabelecido pela história relativamente longa da legislação de resíduos eletrônicos da UE desde o início de 2003. Consequentemente, as estatísticas mostram que 59% dos resíduos eletrônicos gerados no Norte da Europa e 54% dos resíduos eletrônicos gerados no Oeste da Europa são documentados como sendo formalmente reciclados (2017). Essas são as porcentagens mais altas do mundo. Para o ano de referência de 2019, 85% dos resíduos eletrônicos gerados, ou 65% da Produção de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, dos três anos anteriores, devem ser coletados por um Estado-membro da UE, o que indica que a coleta e reciclagem devem aumentar ainda mais para atender às metas (FORTI *et al.*, 2020).

## 2.3 Gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil

No Brasil, a produção de resíduo eletrônico no ano de 2019 foi de 2,1 milhões de toneladas. Os últimos dados publicados em relação a reciclagem datam de 2012, e informam que naquele ano apenas 140 mil toneladas de descarte eletrônico foram recolhidas e devidamente recicladas (FORTI *et al.*, 2020).

Com relação à classificação dos equipamentos eletroeletrônicos, o Brasil adota a seguinte segmentação:

Figura 6: Linhas de segmentos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil



Fonte: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2012)

A gestão de resíduos eletroeletrônicos é regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que tem como objetivo promover a gestão adequada dos resíduos sólidos, incluindo os eletroeletrônicos. A nova lei, aprovada em 2020 e que leva o mesmo nome, estabelece metas de curto, médio e longo prazo a serem cumpridas pelo governo, iniciativa privada e sociedade civil. Além disso, o Artigo 33 da PNRS estabelece a obrigação dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletrônicos e seus componentes de estruturar e implementar um processo de gestão de pós-consumo de produtos eletrônicos, independente da gestão pública de resíduos sólidos.

Sumarizando, os princípios e objetivos da PNRS são (GREEN ELETRON, 2023):

- A gestão adequada dos resíduos com plena conscienteza das ramificações sociais, culturais e tecnológicas do entorno, com respeito às diversas realidades regionais e locais;
- O fomento ao desenvolvimento sustentável;
- A promoção da cooperação entre o setor público, empresas e demais setores da sociedade;

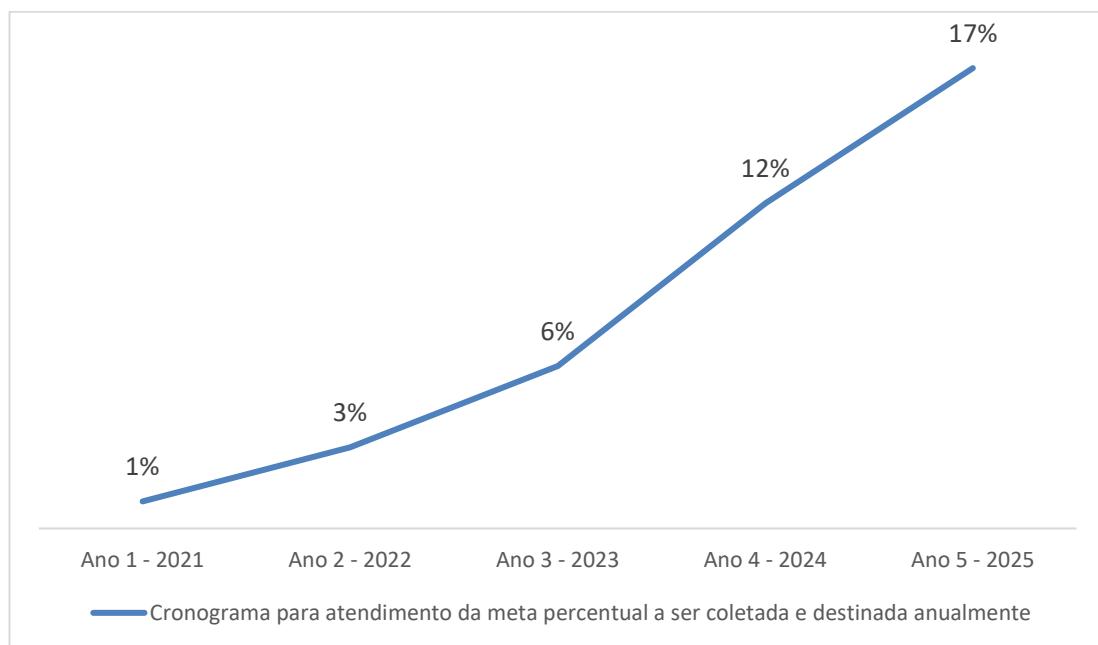
- A valorização da relevância social da prática da reciclagem;
- A promoção de hábitos mais sustentáveis no consumo cotidiano;
- O estímulo à indústria de reciclagem.

Assim, esse processo está em conformidade com a logística reversa, que envolve o movimento de bens do seu destino com o objetivo de capturar valor, incluindo remanufatura e recondicionamento, ou descarte adequado (NETO, 2017).

Dessa forma, os varejistas e distribuidores são responsáveis por devolver os produtos aos fabricantes e importadores, que, por sua vez, devem fornecer tratamento adequado e disposição final dos resíduos. A PNRS também permite que esses atores formalizem uma ou mais entidades de gestão, que podem terceirizar as operações de logística reversa para empresas privadas de gestão de resíduos, esquemas de gestão de resíduos sólidos municipais, cooperativas especializadas ou empreendimentos sociais. Ela também estimula o envolvimento de cooperativas, desde que tenham treinamento adequado, condições de trabalho adequadas e licenças ambientais para realizar as atividades necessárias (SOUZA, 2016). Com isso, a PNRS atua diretamente no descarte de equipamentos eletrônicos das empresas, uma vez que criminaliza essas entidades caso seja realizado o descarte incorreto.

Um avanço relevante na PNRS foi a assinatura do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos por parte do Ministério do Meio Ambiente (MMA) em 21 de outubro de 2019, que reforça a implementação da logística reversa de REE no país. Esse acordo prevê duas fases: estruturação do sistema (Fase 1) e sua implementação e operacionalização seguindo metas anuais, prazos e ações (Fase 2), em um período de cinco anos, entre 2021 (ano 1) e 2025 (ano 5). A principal meta diz respeito a porcentagem (em peso) de REE que deve ser coletado e destinado adequadamente, aumentando gradativamente até atingir 17% no ano 5 (2025) (BRASIL, 2019). O gráfico abaixo ilustra a meta da Fase 2.

Gráfico 1: Cronograma para atendimento da meta percentual a ser coletada e destinada anualmente



Fonte: Brasil, 2019

Nota: Produzido pelo autor

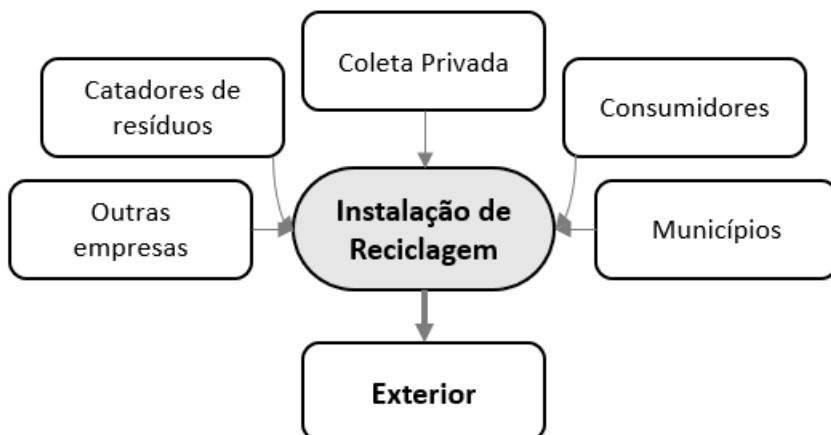
Para atingir essa meta, o decreto prevê metas de cidades atendidas pelo acordo, também em um período de 5 anos, além da criação de 5.000 pontos de coletas nos 400 maiores municípios do brasil (com população superior a 80 mil). (BRASIL, 2019). Em 2020 havia 173 pontos de coleta.

Em 2021, o acordo previa 24 municípios atendidos, indo para 66 em 2022, 186 em 2023, 294 em 2024 e 400 em 2025. No final do ano 5, os estados com mais municípios atendidos serão São Paulo (95), Minas Gerais (44), Rio de Janeiro (33), Paraná (27) e Rio Grande do Sul (25). Dessa forma, na medida em que a PNRS regula o descarte por parte das empresas, esse Acordo continua em vigor para as empresas – visto que estas devem cumprir metas de coleta de seus equipamentos – e expande os pontos de coleta para o descarte dos REE por pessoas físicas.

Contudo, mesmo com avanços na legislação, a gestão de resíduos eletroeletrônicos ainda enfrenta desafios significantes. Atualmente, a prática mais comum no país é descartar os resíduos eletroeletrônicos nos mesmos recipientes destinados aos resíduos recicláveis em geral. Além disso, parte dos resíduos eletroeletrônicos também é descartada junto com o lixo comum, o que resulta em descarte destinado aos aterros sanitários (SANTOS, 2022). No país, há alguns estabelecimentos que realizam a reciclagem de resíduos eletroeletrônicos (NETO,

2017), mas 89% deles realiza apenas o desmonte e recebe o lixo através de “(i) por meio de parcerias com outras empresas; (ii) serviço de coleta particular realizado pelo reciclagem; (iii) entregue voluntariamente pelo consumidor; (iv) vendidos por catadores (frequentemente, os catadores usam processos rudimentares e inseguros para desmontar produtos); e (v) parcerias com programas municipais.” (NETO, 2017). E após desmontarem, categorizarem e triturarem, o restante é exportado para centros de reciclagem internacional. Esse esquema é representado na Figura 5. Dessa forma, há uma falta de infraestrutura de reciclagem no Brasil e muitas empresas não possuem sistemas de logística reversa para coletar e reciclar seus produtos eletrônicos, o que dificulta a coleta, transporte e reciclagem dos EEEs (VINCENZI *et al*, 2021)

Figura 7: Caminho da reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil



Fonte: SANTOS (2022).

Nota: Traduzido pelo autor

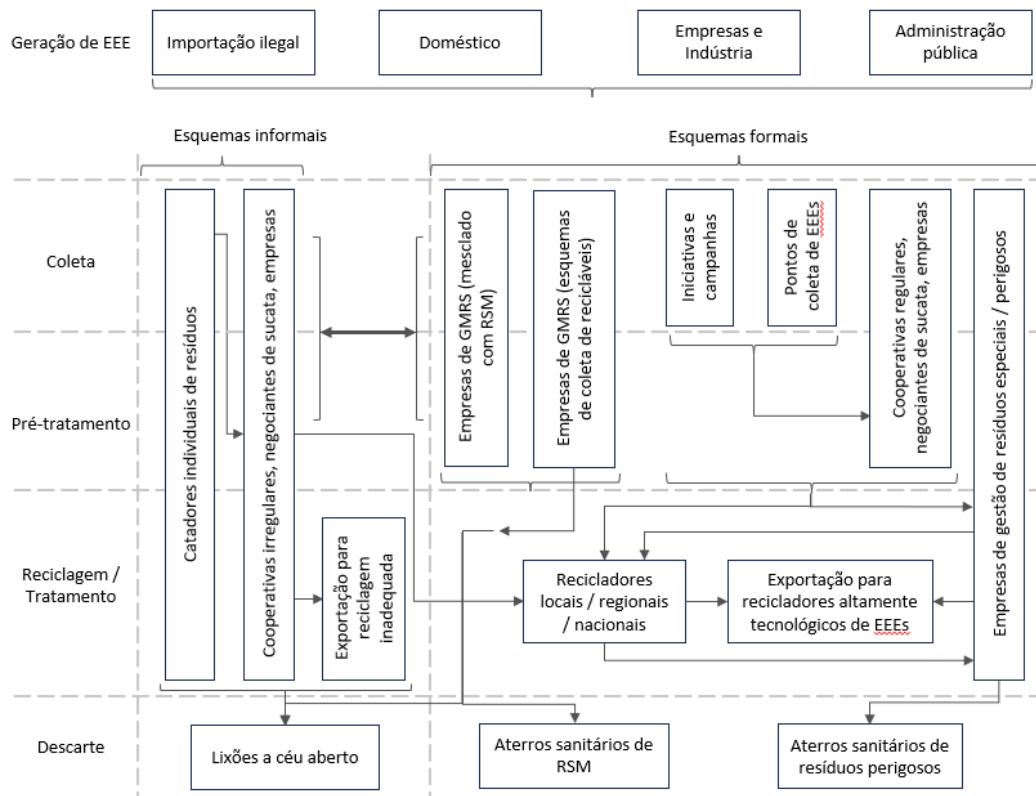
Além disso, outro desafio na gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil é a falta de consciência por parte dos consumidores em relação a utilização, manutenção, armazenamento e descarte de equipamentos eletroeletrônicos (AZEVEDO, 2017). Em um estudo realizado em 2023 pela Green Eletron, com o objetivo de monitorar a compreensão da população brasileira em relação a assuntos relacionados ao lixo eletrônico, bem como seus padrões de descarte desses resíduos, 33% das 2.640 pessoas entrevistadas acredita lixo eletrônico está apenas no meio digital – como

*spams* ou mensagens de e-mail, fotos e arquivos – e apenas 25% dos entrevistados sabem que todos os eletroeletrônicos podem ser reciclados. Também, foi observado que 85% dos entrevistados guardam algum eletrônico sem utilidade em casa desde que parou de usar, sendo os celulares e *smartphones* os mais acumulados (65% dos entrevistados) e 25% descartam os REE junto com o lixo reciclável, o que não é recomendável.

Além da conscientização dos consumidores, a extensão territorial do Brasil e sua infraestrutura difícil no transporte, principalmente em regiões de mata e florestas, dificultam o transporte de resíduos eletroeletrônicos para instalações especializadas no descarte e tratamento adequado (AZEVEDO, 2017)

Dessa forma, existe no país tanto cadeias formais quanto informais na gestão de resíduos eletroeletrônicos. As cadeias formais são compostas por recicladores de resíduos identificados, que possuem capacidade limitada para processar certos tipos de e-waste e componentes. Já as cadeias informais são amplamente observadas no país, mas há poucos dados disponíveis sobre elas. Estima-se que a taxa adequada de reciclagem de resíduos eletrônicos no Brasil seja de 2%, e esses resíduos correspondem a apenas 2% de todos os resíduos coletados pelos sistemas de coleta de recicláveis (Souza, 2020). A figura 6 a seguir esquematiza como é a coleta nas cadeias formais e informais.

Figura 8: Cadeias formais e informais de lixo eletrônico atualmente conhecidas no Brasil



Fonte: Souza, 2020.

Nota: Traduzido pelo autor

Pela figura, é possível notar que os esquemas informais são os principais responsáveis pelo descarte incorreto dos REE, visto que realizam a extração dos componentes de maior valor agregado, como placas de circuito, seguido pela exportação desses para as usinas estrangeiras e então o descarte do restante dos resíduos em lixões a céu aberto.

Com isso, literatura aponta que as principais razões para esse índice ser tão baixo estão relacionadas à falta de conscientização do brasileiro sobre o descarte correto dos equipamentos (AZEVEDO, 2017) e sua mentalidade de acumulá-los (GREEN ELETRON, 2023), além da dificuldade logística da coleta (AZEVEDO, 2017).

A tabela abaixo sumariza as informações sobre os países e regiões observados:

Tabela 4: Quadro comparativo entre países e regiões observados

País	Legislação	Predominância Formal x Informal	REE gerado (kt) (2019)	REE Tratado Oficialmente (kt)	% REE Tratado Oficialmente (kt)
China	Possui	Informal	10.129	1.546	15,26%
UE	Possui	Formal	12.000	5.100	42,5%
EUA	Em alguns estados	Formal	6.918	1.020	14,74%
Índia	Possui	Informal	3.230	475	14,7%
Japão	Possui	Informal	2.569	570	22,19%
Brasil	Possui (recente)	Informal	2.143	42,86	2%

Fonte: Forti, 2020, Baldé *et al.*, 2017

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será explicado qual foi a metodologia utilizada para analisar os dados para a pesquisa, descrevendo cada etapa do estudo, sua importância e quais foram os métodos utilizados para coletar e analisar os dados.

#### 3.1 Etapas da pesquisa

A presente pesquisa parte de uma compreensão teórica da economia circular com foco em resíduos eletroeletrônicos para um entendimento prático sobre como é realizada a coleta e tratamento dos EEEs em empresas brasileiras especializadas no assunto e quais são os principais empecilhos que impedem a escalabilidade do processo.

Figura 9: Estrutura metodológica



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi feita uma pesquisa qualitativa com entrevistas semiestruturadas para levantamento de dados de ONGs, empresas e cooperativas relevantes nesse ambiente de gestão de EEEs, a fim de entender como elas atuam no princípio da economia circular, como é o processo desde a coleta até a reciclagem e quais são os entraves e obstáculos para aumentar a escalabilidade no país.

### **3.2 Coleta de Dados**

Para a coleta de dados, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com funcionários de organizações não-governamentais, empresas e cooperativas de diferentes níveis hierárquicos e pesquisas secundárias para coletar dados disponíveis em sites institucionais e em notícias relevantes. Os resultados serão divididos nesses três subgrupos.

O apêndice A contém o guia de entrevistas utilizado para os funcionários das empresas e organizações, sendo dividido em cinco partes: introdução, a fim de entender as responsabilidades do entrevistado e direcionar perguntas que sejam cabíveis ao seu escopo de trabalho, desafios e regulamentações: com a intenção de entender quais são os entraves que enfrentam, sejam eles econômicos, regulamentais ou comportamentais, estratégia e visão de futuro: para verificar o que está sendo feito atualmente para aumentar a escalabilidade e diferenciais da empresa ou organização, e encerramento: com o intuito de manter o contato aberto para futuras conversas e pedir indicações de outros profissionais para continuar o estudo.

Por se tratar de entrevistas semiestruturadas, o guia serve como base para as perguntas, há um grau de flexibilização para direcionar as perguntas conforme novas informações vão surgindo ao longo da conversa ou de acordo com o escopo de trabalho do entrevistado (se for da área de logística, do financeiro, de operações, de estratégia etc.). Em alguns casos, o entrevistado tinha disponibilidade apenas para responder as perguntas em forma de questionário. As entrevistas realizadas e os detalhes se encontram na tabela a seguir.

**Tabela 5: Entrevistas conduzidas**

Organização entrevistada	Tipo de organização	Atividade da organização	Cargo do entrevistado	Identificação do entrevistado	Formato da entrevista	Data	Duração
Organização 1	ONG	Coleta e reciclagem de REE	Gerente comercial	Entrevistado 1	Questionário enviado por email	29/10/2023	-
Organização 2	Empresa	Coleta e reciclagem de REE	Gerente de Produção	Entrevistado 2	Remotamente via Zoom	06/11/2023	36 min
Organização 2	Empresa	Coleta e reciclagem de REE	Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento	Entrevistado 3	Remotamente via Zoom	08/11/2023	47 min
Organização 3	Empresa	Coleta e repasse de REE	Coordenadora de Sustentabilidade	Entrevistado 4	Questionário enviado por email	14/11/2023	-
Organização 4	Empresa	Coleta e recondicionamento de REE	CEO	Entrevistado 5	Presencialmente	16/11/2023	70 min
Organização 5	Cooperativa	Coleta e repasse de REE	Presidente	Entrevistado 6	Remotamente via Zoom	11/11/2023	40 min
Organização 6	Cooperativa	Coleta e repasse de REE	Administrativo	Entrevistado 7	Remotamente via Google Meets	16/11/2023	30 min

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, é realizada a descrição dos resultados coletados por meio das entrevistas e da pesquisa secundária de cada organização das quais os entrevistados fazem parte. Na primeira parte, é feito um detalhamento sobre as instituições entrevistadas, abordando seu modelo de negócio, tamanho da organização e quantidade de REE coletados e/ou reciclados. Na segunda parte é feita uma exposição dos desafios enfrentados pelas instituições, que foram relatados nas entrevistas.

### 4.1 Organizações entrevistadas

#### 4.1.1 ONGs

##### 4.1.1.1 Organização 1

A organização 1 é uma organização não governamental (ONG) comprometida com a manufatura e destinação de resíduos eletroeletrônicos (REE) há mais de 15 anos, sendo um dos maiores projetos de reciclagem do mundo e oferecem serviços gratuitos de coleta e destinação para Pessoas Físicas, Empresas, Indústrias e Governos em todo o Brasil. A ONG é licenciada pelos órgãos emissores responsáveis – como CETESB e o IBAMA, o que os permite realizar todo o processo de coleta e tratamento dos REE em consonância com o meio ambiente e os possibilita certificar todo o processo aos clientes. Além disso, possuem os certificados ISO 14001 – referente ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) – e ISO 45001 – referente ao Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional (SGSO). Por serem licenciados junto aos órgãos emissores, ela tem responsabilidade de emitir certificados de destinação final ao cliente, sendo eles certificados comuns, detalhados ou laudo fotográfico, que rastreiam todo o processo seguido pelo equipamento quando destinado a organização 1.

Atualmente, realizaram mais de 111 mil coletas, superando 36 mil toneladas de eletrônicos, sendo que reciclam aproximadamente de 20 a 30 toneladas

anualmente, indo desde equipamentos de TI até eletrodomésticos, sendo os equipamentos principais CPUs, monitores, teclados, mouses, fios, cabos, geladeiras e máquinas de lavar.

A entrevistada é a atual gerente comercial, sendo que seu setor realiza toda a recepção e logística dos clientes, tanto pessoa física quanto jurídica. A ONG conta com aproximadamente 20 funcionários que estão divididos em 6 setores: Comercial, Operação, Triagem e Separação, Técnico, Ambiental e Diretoria, responsável pela coordenação das demais áreas. A figura 10 representa o organograma simplificado da organização 1

Figura 10: Organograma da Organização 1



Fonte: Elaborado pelo autor

A organização tem como missão garantir a gestão responsável e sustentável de lixo eletrônico, contribuindo para a preservação do meio ambiente e assim promover a reciclagem e reutilização dos materiais. Como visão, a organização 1 visa ser reconhecida como referência no mercado de coleta e tratamento de lixo eletrônico por meio da oferta de soluções eficientes e inovadoras para a gestão sustentável dos REE. Os valores da ONG são se dedicar ao comprometimento com a responsabilidade ambiental, exercer excelência no atendimento ao cliente, por meio da ética e transparência nas relações comerciais, e valorizar o trabalho em equipe e constante inovação nos processos.

Seu processo de coleta se inicia com o cliente entrando em contato com a organização, informando o que deseja descartar, e então a ONG abre sua Ordem de Serviço e em até 7 dias úteis realizam a coleta no endereço do cliente, seja pessoa física ou jurídica. A ONG faz a reciclagem e a logística reversa. Quando o equipamento é recebido ele passa por uma triagem onde é feita a descaracterização e

análise dos componentes, identificando resíduos para destinação final ou manufatura reversa. O entrevistado explicou o que ocorre caso o resíduo tenha ou não vida útil:

*“Caso o resíduo não tenha mais vida útil, ele é desmontado completamente e cada parte é destinada a uma usina específica homologada com a organização. E se o equipamento ainda tem vida útil, ele é destinado a entidades carentes que necessitem, por meio da logística reversa.”*

(Entrevistado 1, Organização 1)

A ONG realiza coletas por todo o território nacional, sendo que para uma localidade de até 300 quilômetros da sede (localizada na cidade de São Paulo) é realizada a coleta gratuita de frete e se ultrapassar essa distância, é repassado o frete ao cliente. Sobre a captação dos investimentos, o entrevistado relatou o seguinte:

*“Como somos uma ONG, temos alguns termos diferenciados do que uma empresa comum, os investimentos que temos vem dos próprios equipamentos que são destinados e reciclados, também estamos realizamos os processos junto ao governo e a empresas para conseguir parceiros para nos ajudarem nessa questão do investimento para realizamos toda a operação”.* (Entrevistado 1, Organização 1)

Com relação a parcerias, a ONG realiza com grandes empresas para realizar a reciclagem de seus equipamentos, além de fazerem trabalhos paralelos de conscientização utilizando palestras, ações sociais, e tem um projeto de colocar coletores próprios em locais estratégicos de maior movimento, como *shoppings*, hospitais e condomínios, para incentivar a conscientização do descarte correto do lixo eletrônico.

Outras ações que a ONG realiza, fim de conscientizar a população sobre os descartes, são iniciativas de conscientização, seja pela TV, pelo rádio ou pelas principais redes sociais. Além disso, realizam palestras que levam a conscientização nas escolas e nas empresas e, todo o final de ano, a ONG realiza um projeto social em larga escala onde entrega equipamentos reutilizáveis.

## 4.1.2 Empresas

### 4.1.2.1 Organização 2

A Organização 2 é um centro de inovação tecnológica (CIT) para sustentabilidade que atua com o objetivo de mitigar impactos negativos ao meio ambiente ao impulsionar a circularidade no setor de eletroeletrônicos, com enfoque ao descarte desses equipamentos.

Sua missão é ser líder em inteligência e inovação industrial para construir um mundo mais sustentável, conectado e melhor. A visão é gerar impacto positivo para milhões de pessoas no Brasil, de forma a desenvolver a cultura sustentável, geração de oportunidade para as pessoas e atitudes que constroem um mundo conectado e melhor.

Cerca de 120 pessoas trabalham na empresa e recebem, em média 120 toneladas de resíduos eletroeletrônicos por mês, dentre os quais impressoras e computadores representam o maior volume coletado dos clientes. Contudo, em torno de 20 toneladas é composto por um mix de produtos recebido das cooperativas. A empresa realiza coletas em todo país, sendo que a região Sul e Sudeste representa mais de 60% do volume e a organização cobra um frete pela coleta.

Com relação a certificações, a Organização 2 possui o R2 (reciclagem responsável), a ISO 45001, a RBA (*Responsible Business Alliance*), a Zero Waste UL2799 (mais de 90% dos resíduos industriais são transformados em matéria-prima e reinseridos na cadeia produtiva e têm rastreabilidade por norma de todo o material que é mandado para os fornecedores fazerem a reciclagem e a ISO 271001 (segurança da informação)

Foram realizadas duas entrevistas com a organização 2: o entrevistado 2 é gerente de produção e suas atividades correspondem desde a gestão das pessoas que trabalham na área produtiva, do desenvolvimento da operação em sua totalidade, da implantação da estratégia da diretoria para o chão de fábrica, do atingimento de metas e controle de gastos que são inerentes à operação. O entrevistado 3 é química de formação e gerente de pesquisa e desenvolvimento

A Organização 2 é uma unidade de negócio de outra empresa incorporadora, de modo que o modelo de negócio da organização é montado sobre os clientes da empresa maior. Dessa forma, se a pessoa física quiser descartar um produto eletrônico, ela pode entrar no site do cliente, abrir um chamado na página de descarte e esse chamado tem conexão com o sistema da Organização 2. A partir do momento em que o chamado é aberto, a organização inicia o acionamento da cadeia de fornecedores, já que não possuem logística reversa própria por não ser economicamente viável. Eles possuem quatro parceiros que fazem a coleta desde a ponta até a entrega em um dos quatro *hubs* espalhados no Brasil, e desses *hubs* a Organização 2 coleta os materiais consolidados para dentro da fábrica.

Também existem pontos de coleta que não são próprios da organização, mas sim de outro parceiro deles – a Organização 3, uma gestora que será detalhada mais adiante – então as pessoas físicas descartam os REE nesses pontos de coleta e a Organização 3 envia os resíduos para a fábrica da Organização 2. Há também coletas esporádicas em clientes maiores que fazem substituições de equipamentos em larga escala, como reestruturação de servidores, e coletas específicas de equipamentos de grande porte que necessitam de uma logística própria. Por fim, outra entrada dos REE é por meio de cooperativas, sendo que atualmente o programa conta com 30 cooperativas – das quais duas serão abortadas mais adiante no estudo – que passam por treinamento, auditorias para verificar o CLT, leis trabalhistas e segurança do trabalho. Depois desse crivo, as cooperativas passam a coletar os resíduos eletrônicos e enviam para a organização 2, que realiza o pagamento dos REE em modelo de preço fixo, diferentemente do mercado tradicional em que essas *commodities* estão sujeitas a oscilações de preço. Dessa forma, a empresa possui três braços de entrada de REE: pessoa física (25% do volume), pessoa jurídica – que são os clientes (60% do volume) e cooperativas (15% do volume), sendo que para o último os entrevistados explicaram a parceria:

*“A ideia é fazer um projeto ‘ganha-ganha’, pois como se trata de commodities e o resíduo eletrônico não é algo que está na rua para ser coletado tão facilmente, para a cooperativa ter um ganho na venda da commodity é preciso de volume e eles não conseguem ter tanto volume de REE – para eles vale mais a pena embalagens – então o preço fixo deixa*

*mais competitivo para eles e recebemos mais REE”* (Entrevistado 2, Organização 2).

“É um trabalho um pouco diferente, não podemos fazer coletas em todas as cooperativas. Começamos o trabalho para saber se a cooperativa é no mínimo formal: não tem trabalho infantil ou análogo à escravidão e se possuem licença para operar. Tem que ter o mínimo do mínimo. Fazemos um trabalho de educação e orientação do material que precisamos e como devem fazer essa separação. Então recebemos e bonificamos pelo material recebido e penalizamos pelo material que não deveria ser recebido” (Entrevistado 3, Organização 2).

Após o chamado ser realizado, é feito o agendamento da coleta dos resíduos, que são armazenados em um dos *hubs* até atingir o volume mínimo, e então é liberado o transporte até a fábrica. Depois de receber os REE, os resíduos têm dois destinos. O primeiro destino envolve o armazenamento do resíduo para então ser encaminhado para a triagem ou passa por uma fase de pré-triagem para separação das embalagens que os acompanham (como caixas de isopor e papelão, que são posteriormente prensados e encaminhados como *commodities* para parceiros especializados)

Na triagem, são analisados quais resíduos são de interesse para a Organização 2 e quais serão destinados para os parceiros. Os REE que permanecerem são encaminhados para a desmontagem, que conta com três estações manuais de separação cada uma responsável por uma etapa da desmontagem. Há então a separação das *commodities* e dos plásticos – que são competitivos para seus clientes – e para o restante do material é montada uma cadeia de fornecedores para fazer a reciclagem. No caso do plástico, que permanece na cadeia da Organização 2, ele é separado por tipo e então segue para o moinho para ser triturado, e então são armazenados nos silos para posteriormente passarem pelo misturador para criar uma matéria prima homogênea. Caso não seja possível separar manualmente o plástico de outros materiais, o composto passa por um picotador, segue para um ímã que separa os metais ferrosos e então é direcionado para outro equipamento que separa os metais não ferrosos e os plásticos.

Figura 11: Linha de desmontagem de REE da Organização 2



Fonte: Entrevistado 2

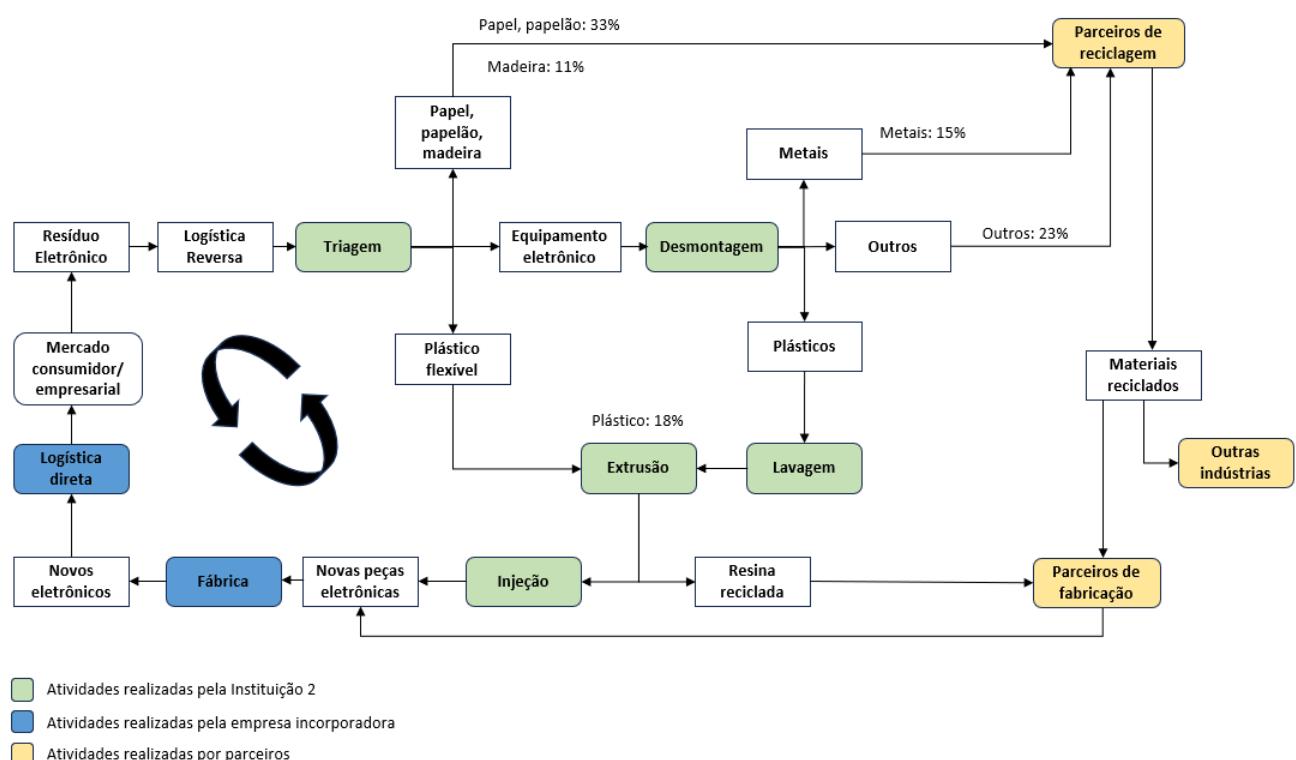
Figura 12: Linha de moagem da Organização 2



Fonte: Redes sociais da Organização 2

Caso recebam resíduos que não são adequados – como eletrodomésticos de grande porte, resíduos médicos ou contaminados – direcionam para parceiros especializados. O fato de terem a certificação *Zero Waste* garante que tem rastreabilidade, por norma, de todo o material que é enviado para os parceiros fazerem a reciclagem, tendo assim o controle de como o material irá voltar como matéria prima, evitando que volte para um aterro. O entrevistado 2 reforçou que é muito comum no mercado de eletrônicos comprar um lote, desmontar e descartar no aterro o que não for de interesse. A figura 13 ilustra o fluxograma da empresa.

Figura 13: Fluxograma da Organização 2



Fonte: Alvará de funcionamento municipal da Organização 2

Nota: Traduzido pelo autor

A partir do fluxograma, é possível perceber que a Organização 2 realiza internamente apenas a lavagem e a extrusão do plástico, sendo que as demais *commodities* – como papéis, madeiras, metais e outros – são enviados para parceiros especializados nesses materiais. Dessa forma, a organização é especializada na

reciclagem do plástico, que é recebido em diferentes composições e então descaracterizado, triturado, derretido e transformado em granulados, que são vendidos para diferentes indústrias. Também, a organização desenvolve produtos próprios, como alças para caixas de impressoras que são vendidas para os fabricantes e outras peças de plásticos, que podem ser reinseridas em produtos novos.

Assim, a economia circular da Organização 2 é focada no plástico, por conta da reciclagem interna que faz com que essa matéria prima volte como insumo para novas impressoras manufaturadas pela empresa incorporadora. Mas as demais matérias primas seguem o ciclo aberto e não se tornam equipamento dentro da cadeia da organização.

*“Basicamente, a maior parte dos equipamentos que recebo vão virar commodity para reciclagem, salvo alguns casos em que alguma empresa está trocando o parque de computadores e ela nos autoriza a remanufaturar. Se esse for o caso, fazemos isso e revendemos para colaboradores, não para o mercado direto, exatamente para não ter exposição fiscal – não é um mercado que é regularizado. Nossa maior negócio é: coletar, desmontar, gerar as commodities e fazer o dinheiro em cima da commodity que vai ser reciclada”.* (Entrevistado 2, Organização 2)

Com relação às placas de circuito impresso, um dos componentes de maior valor econômico nos REE, o entrevistado 3 informou que não tem no Brasil alguma organização que faça a recuperação das placas, sendo então exportadas. Ele informou que no mundo há 6 empresas que façam esse processo por ser relativamente caro e por demandar grande volume para justificar a recuperação.

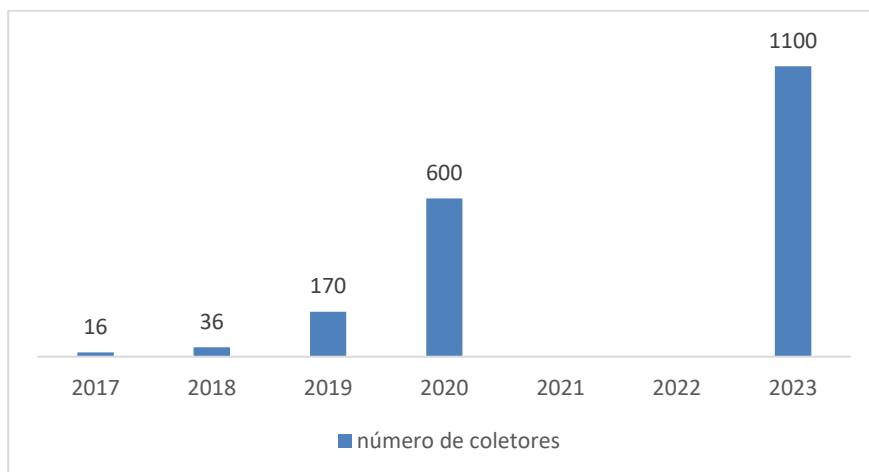
#### **4.1.2.2 Organização 3**

A Organização 3 é uma gestora para resíduos eletroeletrônicos com o objetivo de operacionalizar a logística reversa de pilhas, baterias e eletrônicos e assim auxiliar as empresas no atendimento da PNRS. Para isso, ela contrata e coordena os serviços de coleta, transporte e destinação final dos REE que sejam ambientalmente

adequada. Por ser uma entidade gestora, não tem fins lucrativos e tem sua operação custeada pelas empresas associadas. A gestora participa do Acordo Setorial representando e operacionalizando o sistema coletivo de logística reversa de seus associados, que são empresas do setor que perante a lei precisam comprovar que possuem um sistema de logística reversa, para conformidade com a Lei 12.305 PNRS. Dessa forma, as empresas associadas a Organização 3, que são 82 atualmente, financiam a operação da gestora e ela é responsável por gerenciar a coleta, transporte, desmontagem e reciclagem dos REE descartados pelos consumidores, repassando-os para a indústria e reportando o cumprimento das metas para as autoridades.

Atualmente, a empresa conta com seis analistas de sustentabilidade, um assistente administrativo e um gerente executivo, estão presentes em mais de 270 municípios distribuídos em 24 estados e possuem mais de 1100 pontos de entrega voluntária (PEV) instalados em todo país.

Gráfico 2: Número de coletores da Organização 3 instalados no país



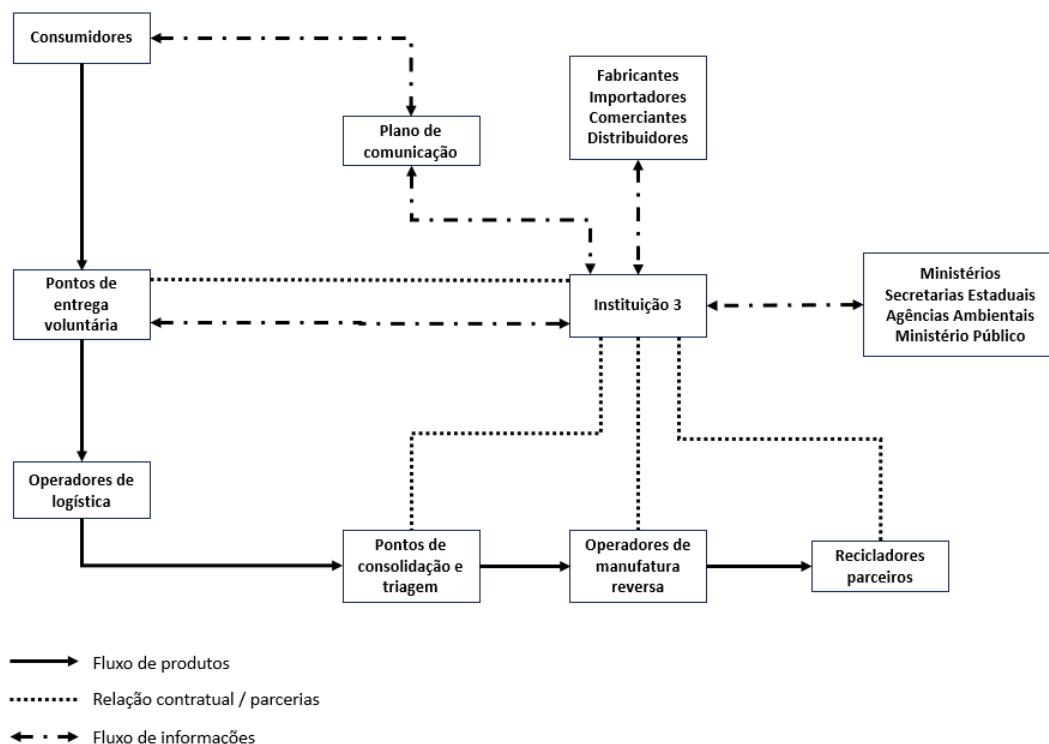
Fonte: Site institucional da Organização 2

Nota: Os dados de 2021 e 2022 não foram divulgados

Os materiais coletados nos PEV são encaminhados para as empresas parceiras que fazem a descaracterização e separação dos componentes e encaminham esses materiais para a indústria, de acordo com o tipo de resíduo, como plástico, cobre e metais nobres. O foco da gestora é em receber materiais eletroeletrônicos de pequeno

porte, por conta do tamanho de seus coletores, mas seus parceiros são orientados a receber todo o material que os consumidores descartarem. A respeito da seleção dos parceiros que recebem os resíduos, o entrevistado informou que há um rigoroso processo de homologação, além de realizarem auditorias anuais dos dados de seus associados e documentarem por completo a operação e volumes coletados e repassados. A figura abaixo ilustra o fluxograma dos produtos, da informação e das parcerias da Organização 3:

Figura 14: Fluxograma da Organização 3



Fonte: Site institucional da Organização 3

Nota: Adaptado pelo autor

Para lidar com a legislação ambiental, regulamentações e reportar o cumprimento das metas das empresas associadas, a organização 3 está sempre em contato com as secretarias estaduais de meio ambiente, com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), e com demais órgãos fiscalizadores ambientais para garantir a conformidade dos processos. Como a gestora representa um coletivo de empresas, ela é o ponto focal de logística reversa e a regulamentação que envolve o tema.

Ademais, a gestora tem forte presença em projetos de conscientização da população, segundo o relato do entrevistado:

*“Sempre procuramos participar de eventos do setor, realizamos feiras e campanhas em escolas, faculdades e municípios que tenham interesse em parceria para esse tipo de ação, também temos bastante conteúdos em nossas redes sociais. Estamos trabalhando no material de comunicação em quadrinho, para ser lançado com foco no público infantil e infanto-juvenil.”* (Entrevistado 4, Organização 3).

#### **4.1.2.3 Organização 4**

A Organização 4 é uma empresa que utiliza a logística reversa e o modelo de economia circular para coletar resíduos eletroeletrônicos – em específico da linha verde – de empresas e instituições de serviço. Seu processo produtivo inclui a coleta dos REE, realização de inventário, descaracterização, certificação, valorização e avaliação dos equipamentos de TI e Telecomunicações, para então destinar para reciclagem ou recondicionamento em equipamentos seminovos.

Atualmente, a empresa tem mais de 1.950 toneladas de equipamentos eletrônicos coletados, desde 2013, resultando em mais de 1,3 toneladas de matérias primas reinseridos na cadeia produtiva e no recondicionamento de 25.000 equipamentos. Além disso, a empresa coordenou mais de 170 projetos sociais – impactando mais de 26 mil pessoas – nos quais foram destinados mais de 2.500 equipamentos recondicionados. Seu processo produtivo resultou em uma economia em coleta de mais de R\$120 milhões e evitou a emissão de mais de 3,4 mil toneladas de gases de efeito estufa. Em relação às certificações, a Organização 4 é uma Empresa B e é licenciada pelo IBAMA e pela CETESB.

A atuação da Organização 4 está dividida em três pilares que se interligam: o Ambiental, o Comercial e o Social. O ambiental se baseia na oferta para empresas e instituições de serviços de logística reversa de equipamentos da linha verde em desuso. Assim, as empresas abrem um chamado declarando interesse em descartar

seus equipamentos e a Organização 4 vai até as empresas e realiza a coleta, sendo necessário uma quantidade mínima de 200kg.

No Comercial, é realizado o recondicionamento de parte dos equipamentos coletados. Dessa forma, REEs que possuem possibilidade de serem recondicionados em equipamentos seminovos seguem para a linha de remanufatura e são vendidos para o mercado por uma empresa que faz parte do grupo da Organização 4. Os produtos possuem certificado de origem, rastreabilidade e garantia de qualidade e assistência técnica, além do recondicionamento atender a Legislação Ambiental e os princípios da economia circular. A empresa possui 2.000 clientes desses equipamentos recondicionados.

Por fim, no Social, há o direcionamento de cerca de 5% dos equipamentos seminovos recondicionados para projetos de causa social por meio de uma instituição que faz parte do grupo da Organização 4. São projetos sem fins lucrativos que têm como propósito fomentar a inclusão social através da inclusão digital. Atualmente, essa frente assumiu mais de 80 projetos sociais com mais de 1.600 equipamentos de TI seminovos doados, atingindo mais de 110.000 jovens.

O processo de inicia com um chamado das empresas com interesse em descartar seus REEs. Se atingir a quantidade mínima de 200kg, a instituição faz uma avaliação financeira detalhada do lote e 100% das empresas aplica esse valor em projetos sociais, assim a Organização 4 não paga pelo recebimento dos REEs. O valor dos lotes varia significativamente, podendo ir de R\$3,00/kg para empresas do varejo até R\$70,00/kg em empresas de telecomunicação, a depender do tipo de resíduo que descartam.

No início das operações, o entrevistado relatou que a Organização 4 tomava a iniciativa para entrar em contato com as empresas e coletar seus equipamentos, fazendo um trabalho de divulgação da operação e dos valores da Instituições. Segue abaixo o relato do entrevistado acerca desse tema:

*“Era difícil fechar acordos, porque as empresas queriam leiloar os equipamentos e ganhar dinheiro com isso. Mas hoje, as elas que vêm atrás da gente, porque R\$20.000,00 em equipamentos da linha verde para uma*

*empresa de grande porte não pesa financeiramente. Mas vale 10 computadores para um projeto social que ela tem interesse em desenvolver e em divulgar para o acionista. Não temos problemas de captação.”* (Entrevistado 5, Organização 4)

Além das coletas nas empresas, a Organização 4 também realiza campanhas em dentro das empresas para atingir as pessoas físicas. Como exemplo, citou campanhas dentro de atacadinhos, onde consegue captar o B2B e trazer o B2C junto, sem custo adicional.

Após ser aprovado o descarte, a instituição coleta os resíduos na empresa, utilizando princípios da logística reversa para acompanhar os fretes e reduzir os custos. Ao receber os REEs na fábrica, é feita uma triagem dos recebidos e realiza-se uma separação em dois grupos macro: os REEs condicionáveis e os REEs não condicionáveis. Do que recebem atualmente, 80% são não condicionáveis, ou seja, não são viáveis para se fazer o recondicionamento para virarem equipamentos seminovos, e para esses REEs a empresa possui parceiros com interesse pelas partes e é feita a revenda para eles. O entrevistado exemplificou essa troca:

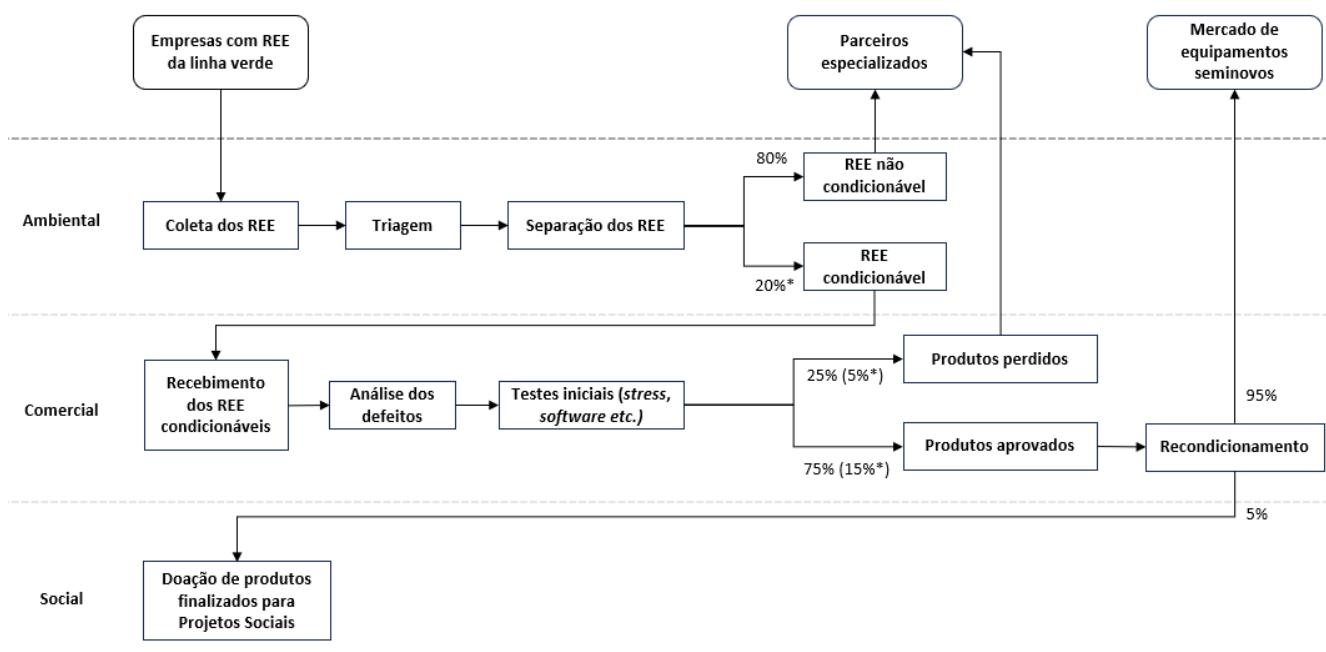
*“Se recebermos um monitor que está quebrado, o não compensa consertá-lo para gente, mas para outro compensa, então tem uma cadeia de fornecedores que demandam, porque eles consertam em alto volume. Vendemos a ‘sucata’ entre R\$3,00 e R\$10,00 o quilo, 65% é aço. Equipamentos como cabos, fonte de notebook e desktop têm um mercado sério, por exemplo as assistências técnicas precisas de partes. Nesse universo, não existe sucata ou lixo, é tudo equipamento. [...] não vemos as outras empresas recicadoras de REEs como concorrentes, e sim como parceiras, porque o resíduo que não é interessante para mim é para ela, e vice-versa, o concorrente é o mercado informal.”* (Entrevistado 5, Organização 4)

Os 20% restantes de REEs coletados são os considerados condicionáveis, ou seja, os que são viáveis de recondicionar e se tornarem produtos seminovos. Esses resíduos são encaminhados para a linha de produção da empresa, onde são feitas análises dos defeitos presentes e testes iniciais, como de *stress* e compatibilidade

com softwares. Desses testes, 25% (ou 15% do total coletado) dos resíduos são perdidos, sendo então desmontados e revendidos para parceiros especializados e interessados nesses equipamentos, e os 75% (ou 5% do total coletado) restantes seguem para o recondicionamento. Após o recondicionamento, 95% dos equipamentos seminovos de TI são vendidos no mercado formal e os 5% restantes são direcionados para os Projetos Sociais coordenados pela instituição da Organização 4. O entrevistado informou que os produtos acabados possuem códigos de barras para garantir a rastreabilidade, sendo possível dizer de qual lote de REEs o equipamento é originário.

A figura abaixo ilustra o fluxograma da empresa:

Figura 15: Fluxograma da Organização 4



Fonte: Elaborado pelo autor

O entrevistado afirmou que um equipamento de TI novo que é vendido por R\$8.000,00 no mercado tradicional é vendido por R\$2.500,00 no comércio da Organização 2, com as mesmas especificidades técnicas (geração de processador, pente de memória, armazenamento etc.). Mas esse preço competitivo não representa

uma grande ameaça para as grandes fabricantes da linha verde, porque o volume fabricado pela Organização 2 é significativamente baixo se comparado às empresas tradicionais, como relatou o entrevistado:

*“As 2.000 toneladas de resíduos coletadas desde 2013 gera 6.000 equipamentos por ano, enquanto as grandes fabricantes produzem 7 milhões por ano. Eles não se preocupam porque o volume é muito menor”*  
 (Entrevistado 5, Organização 4)

Dos 60.000 equipamentos gerados em 10 anos, 3.000 (5%) são destinados para as causas sociais e com um valor médio de R\$2.000,00 por equipamento, foram investidos 6 milhões de reais nos projetos sociais. Os números relatados pelo entrevistado estão ilustrados na figura abaixo:

Figura 16: Quantidade gerada de equipamentos recondicionados



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1.3 Cooperativas

##### 4.1.3.1 Organização 5

A Organização 5 é uma cooperativa de catadores – localizada no sudoeste paulista – e é parceira da Organização 2 há 3 anos, responsável por parte da logística de coleta, sendo um *hub* da região. A cooperativa firmou essa parceria através da *Inclusive Waste Reciclyng Consortium* (IWRC), uma *startup* americana que foca em eliminar os fatores de risco individuais dos catadores, como trabalho infantil ou forçado, condições perigosas de trabalho etc.) em mercados emergentes. Com isso, é garantida a saúde e bem-estar dos catadores e há a integração do material que coletam.

O entrevistado 6 é o presidente da cooperativa que nasceu em 2000 como uma associação de catadores e em 2008 se tornou uma cooperativa de fato. Em 2016, conseguiram o primeiro contrato de prestação de serviço com a prefeitura, remunerando a coleta seletiva no serviço municipal, e como já haviam feito esse trabalho ao longo dos anos, a população aderiu facilmente.

Hoje, a cooperativa é dividida em 3 grupos: a Coleta, a Triagem e o Administrativo/Operacional. A Coleta é responsável por fazer a coleta seletiva periódica da cidade por meio de três caminhões que circulam por bairros específicos de acordo com o dia da semana durante o período da manhã e da tarde, indo de porta a porta. Atualmente, possuem 60 catadores: 41 catadores cooperados e 19 catadores avulsos/autônomos (que não fazem parte da cooperativa).

A Triagem é composta por 15 pessoas, responsáveis por fazer a separação do material que é recebido e pelo controle desde o material que entra na cooperativa até a saída para a comercialização, e entre essas fases são realizadas quatro pesagens.

O Operacional, do qual o entrevistado 6 faz parte, realiza a gestão administrativa. Contam com uma diretora financeira, uma coordenadora de RH, um diretor de logística, uma diretora de bazar – para gerar renda extra – e uma diretora de conscientização ambiental.

Com relação a infraestrutura, possuem quatro prensas internas, uma esteira de 20 metros, uma esteira elevatória de 7,5 metros, duas empilhadeiras, um escritório dotado de computadores com sistema de gestão ERP. A estrutura de remuneração é diferente das demais cooperativas, na Organização 5 é dividida em porcentagem: a triagem recebe 40% do faturamento, a coleta recebe 35% e o administrativo/operacional recebe 25%.

Em relação aos resíduos que coletam, o que mais recebem é papel (55% do volume) e plástico (30% do volume) e o restante é dividido entre metais ferrosos, não ferrosos, vidro e eletrônicos. A média de eletrônicos é de 3,5 toneladas por mês, e a maioria que recebem são equipamentos da linha verde, como monitores, computadores, teclado etc.

Por questões legais, eles não podem desmontar nenhum eletrônico, pois a CETESB tem uma normativa de que, a partir do momento em que desmontam o eletrônico, passam pelo processo de industrialização, precisando de licença de operação. Dessa forma, a cooperativa recebe o material, realiza a pesagem, embala o plástico no palete e enviam os materiais para a Organização 2. O valor fixo que recebem por material coletado – independente de qual seja o material – é de R\$2,00/kg, mas a Organização 2 se interessa mais pelo plástico. Sobre a remuneração, o entrevistado disse que:

*“O nosso contrato é com a IWRC. Nós queríamos que a relação fosse direta com a Organização 2, mas quem valida a cooperativa é a IWRC e não temos como chegar direto na empresa. A certificação é da IWRC. Tenho certeza de que se o contato fosse direto receberíamos em torno de 4 reais o quilo de resíduo, uma parte vai para a comissão da IWRC.”*

(Entrevistado 6, Organização 5).

O entrevistado informou que, numa visita para a fábrica da Organização 2, eles se interessam pelo plástico porque o plástico dos eletroeletrônicos é o ABS e esse material ficará escasso em 10 anos, então buscam criar um produto que não dependa da extração.

#### **4.1.3.2 Organização 6**

A Organização 6 é uma cooperativa do interior do Rio Grande do Sul, com 55 colaboradores, que realiza o gerenciamento de resíduos industriais de empresas. Dessa forma, o que recebem de resíduos eletroeletrônicos são equipamentos obsoletos da linha verde. Seu trabalho principal é ser uma organização parceira das empresas e da comunidade para evitar o descarte incorreto de resíduos, tanto eletrônicos quanto sólidos.

Para conscientizar a comunidade da cidade, criaram um posto de recebimento no centro da cidade, onde recebem os resíduos residenciais mensalmente dos moradores. Além disso, realizam campanhas de conscientização nas escolas.

Ao receberem os resíduos das empresas – tanto eletrônico quanto sólidos – a cooperativa faz a destinação final de acordo como que a empresa cliente quer (aterro ou processamento), reaproveitando o que for possível, como papelão, papel, aglutinação do plástico mole, moeção do plástico duro e separação dos tipos de ferro. Depois de separadas, essas *commodities* são revendidos uma indústria. Das empresas, a demanda de REE é baixa, mas o que mais recebem são equipamentos da linha verde. O trabalho de coleta, triagem e separação dos resíduos ainda é altamente manual.

No caso de eletroeletrônicos, a Entrevistada 7 – vice-presidente da cooperativa – relatou que não tem licenciamento para armazenamento de resíduos perigosos, possuem apenas licença para transporte destes. Quando foram renovar a licença, pediram a inclusão de recebimento de REE para repassarem aos clientes, mas a prefeitura negou o pedido por serem considerados resíduos perigosos. Depois de insistirem em burocracias a cooperativa recebeu a licença para armazenamento de resíduos perigosos, inclusive os eletrônicos.

A cooperativa possui uma empresa parceira que faz a separação dos REE e analisam o que pode ser reaproveitado, remunerando a Organização 6 se for o caso. No entanto, para eles isso não é viável, pois a demanda é baixa e eles não são especialistas em eletroeletrônicos.

## **4.2 Desafios relatados**

Nesta seção é feita a exposição dos desafios relatados pelas instituições durante as entrevistas, tanto nas operações internas quanto no contexto do Brasil, analisando-os e relacionando-os com os obstáculos encontrados na literatura que foram detalhados anteriormente no capítulo de revisão bibliográfica.

### **4.2.1 Desafios nas ONGs**

Um dos desafios operacionais enfrentados pela ONG entrevistada (Organização 1) são referentes ao prazo de retorno das licenças ambientais para com

os órgãos emissores, que podem chegar a meses para serem aprovados, resultando em aumento de filas para o início do tratamento dos REE. Além disso, é outro ponto levantado foi a questão de mentalidade da população quanto ao descarte:

*“[...] enfrentamos a conscientização da população em realizar o descarte corretamente, pois muitas vezes a sociedade acredita que pode encaminhar os resíduos para qualquer empresa recicladora ou até mesmo acaba jogando como lixo comum. Não é incomum recebermos lixos hospitalares, que demandam uma infraestrutura de tratamento diferenciada por conter componentes tóxicos para nossos operadores. Além disso, um dos maiores desafios na coleta e reciclagem de dispositivos obsoletos ou em desuso é saber onde descartar. Os produtos devem ser reutilizados, pois o que pode não ser útil para você pode ser para outra pessoa, e de pensar que os produtos eletrônicos utilizam minerais que são de difícil acesso e precisam de uma grande exploração para serem encontrados, não é justo com a natureza serem descartados da forma errada e trazerem malefício ao meio ambiente. Para que aconteça essa mudança, temos que mudar anos de pensamentos de toda a sociedade, e a melhor maneira disso é através de incentivos e mostrando a população os benefícios que a reciclagem correta irá trazer não apenas ao meio ambiente, mas a toda a sociedade.”*

(Entrevistado 1, Organização 1)

Além da falta de conhecimento sobre o descarte correto, a ONG relatou que os consumidores têm receio em descartar seus equipamentos por medo de acessarem os dados que estão na maioria dos equipamentos, como computadores ou *smartphones*. Assim, a maior responsabilidade da ONG é atestar ao cliente que seus dados serão totalmente apagados e não serão expostos de maneira alguma.

Por fim, a falta de incentivos financeiros também dificulta o trabalho da Organização 1, porque como são uma ONG e não tem nenhuma ajuda financeira de empresas ou do governo, é desafiador mobilizar recursos para dar acesso à informação para a sociedade.

#### **4.2.2 Desafios nas empresas**

Os desafios relatados pelo subgrupo das empresas foram a falta de conhecimento dos brasileiros sobre o descarte correto (atrelada à mentalidade de não ter o costume de descartar), regulamentações ineficazes, impostos considerados indevidos (acompanhados pela falta de incentivos fiscais), custos elevados na logística e a presença significante do mercado informal.

Com relação à mentalidade e costumes dos brasileiros, foi um consenso entre os entrevistados que esse é um dos principais obstáculos para melhorar os índices de coleta e reciclagem dos REEs. O entrevistado 2 exemplificou que, enquanto os europeus têm o costume de consertar os equipamentos e os norte-americanos descartam, reciclam, e reintroduzem os componentes na cadeia, o brasileiro não adota nenhuma dessas abordagens. Os consumidores armazenam o eletrônico em suas residências, mesmo que ele não funcione mais, fazendo com que os REE das pessoas físicas não estejam facilmente disponíveis para coletar. Esse entrevistado atrelou essa mentalidade a falta de incentivos econômicos para o consumidor:

*“[...] o brasileiro tem uma cultura de que ele não descarta por motivo ecológico, ele deve ter algum ganho financeiro em cima disso. Não é incomum as pessoas terem mais de um equipamento eletrônico em desuso na gaveta, sem enviar para conserto ou para reciclagem. Esse é o paradigma dos eletrônicos: eles não saem da casa dos brasileiros. Isso não acontece em grandes empresas que são geradoras de resíduo, que compram o produto eletrônico no modelo B2B, como exemplo os decoders de TV a cabo. Nesse caso, os clientes ficam com esse equipamento, mas não é propriedade deles, é da empresa, e esses equipamentos voltam para a reciclagem de uma maneira mais simples porque a empresa é obrigada por lei a destinar corretamente.”* (Entrevistado 2, Organização 2).

Seguindo a linha de falta de volume descartado, o Entrevistado 3 mencionou que, caso o equipamento ainda funcione, o brasileiro atribui algum “fator emotivo” aos equipamentos, de forma que preferem doar ou emprestar para amigos ou pessoas

que precisem desses equipamentos, o que atrasa a entrada desses produtos na cadeia da economia circular.

E caso os consumidores descartem os REE, há vezes em que o ele faz esse descarte incorretamente. Ambos os entrevistados da Organização 2 relataram que em diversas ocasiões receberam resíduos inadequados para o tratamento, como resíduos hospitalares e seringas, que podem trazer contaminação biológica, e televisores de tudo, que necessitam manuseio especial na desmontagem para não haver exposição a materiais tóxicos. E a coleta desses resíduos acontece independente das orientações que a organização faz para seus parceiros e clientes. O entrevistado 3 caracterizou isso como um “descaso com o descarte” e explicou como a contaminação do plástico – matéria prima de maior interesse para a Organização 2 – atrapalha as operações da empresa:

*“O maior problema hoje é como as pessoas tratam os plásticos, as misturas que fazem, para eles o plástico não valor, o que fazem é misturar tipos de plásticos diferentes, deixam contaminar com metais, o que acaba impedindo que a reinserção do plástico na cadeia. São dois pontos que precisam melhorar: aumentar o volume descartado e ter no mercado pessoas que agreguem o plástico e vendam o plástico com valor para a gente.”* (Entrevistado 3, Organização 2).

Ademais, o Entrevistado 4 declarou que é dever da população ter engajamento e entendimento no descarte correto, visto que:

*“[...] a população desconhece por vezes o seu papel importante nessa cadeia, como mesmo descreve a PNRS: todos os entes da cadeia possuem a chamada ‘responsabilidade compartilhada’, onde descrevem que cada parte atuante tem sua fração de responsabilidade na destinação adequada dos resíduos, inclusive os eletrônicos.”* (Entrevistado 4, Organização 3).

Outro ponto que está relacionado à mentalidade do brasileiro sobre o descarte dos REEs é a cultura de que “o reciclado é ruim”, que foi relatado tanto pelo Entrevistado 2 quanto pelo Entrevistado 5:

*“Assim como se tem a cultura do não descartar, tem a cultura de que ‘o reciclado é ruim’. É muito comum no brasileiro. Hoje, conseguimos fazer com o plástico porque é uma grande empresa (a incorporadora) que decidiu utilizar material reciclado na composição do equipamento eletrônico que ela constrói, mas trabalhar com os fornecedores desta empresa para que ela consuma material reciclado é um grande desafio, porque é uma cultura de que material reciclado é ruim, que a performance não será boa e vai resultar em perdas.” (Entrevistado 2, Organização 2).*

*“O seminovo não é visto com bons olhos no Brasil. Quando o consumidor vê pouca garantia nos produtos de TI em marketplaces, ele generaliza que todos os seminovos são assim. Mas os nossos recondicionados têm muita qualidade, nosso índice de assistência técnica é 2%, isso é melhor que em equipamentos novos. Precisa aumentar a credibilidade do seminovo e o brasileiro e movido pelo preço, não procura saber se a empresa é séria – maioria está na Santa Efigênia, por isso é malvisto. Quando coloca a loja de seminovos em um shopping e vê que é uma empresa séria, é diferenciado.” (Entrevistado 5, Organização 4).*

Outro assunto amplamente mencionado e discutido nas entrevistas como entraves para a escalabilidade da melhor gestão de REE no Brasil está relacionado às legislações, tanto em nível federal quanto estaduais e municipais. Tanto as Instituições 2 e 4 afirmaram que há espaços para melhorias em questões de tributações. O Entrevistado 2 compartilhou que na legislação para a manufatura, é pago o imposto sobre o item desde o momento da compra da matéria prima até a área de manufatura, em que o cliente final acaba resarcindo toda a cadeia pelo imposto que já foi pago. Contudo, quando o material é reciclado, o imposto é novamente cobrado sobre ele, sendo que o imposto já foi pago uma vez. Ele informou, no entanto, que isso pode mudar no futuro:

*“ [...] recentemente, recebemos uma equipe da ISO que tem um projeto para redigir uma norma mundial para reger a economia circular. Eles estão fazendo visitas em empresas do mundo todo e fomos escolhidos para recebê-los, junto com representantes de outros países. Quando disse a eles sobre esses impostos eles ficaram abismados.” (Entrevistado 2, Organização 2).*

Dessa forma, o Entrevistado 2 afirmou que essa cobrança de impostos não é praticada em países com forte circularidade, como nos Estados Unidos e em países europeus, o que poderia justificar, em parte, o maior desenvolvimento de práticas circulares nesses locais.

Os impostos no geral também foram discutidos pelos entrevistados das instituições 2 e 4. Todos acreditam que os impostos sobre quem pratica a economia circular deveriam ser revistos. O entrevistado 3 criticou que eles não pagam menos impostos por reciclar e ajudar, pagam os mesmos impostos que qualquer outra empresa, mas relatou que existem estudos para que os impostos sejam menores e que um grupo está discutindo isso para tornar esse negócio mais atrativo e ser visto com mais seriedade.

Para reverter isso, o Entrevistado 5 afirmou que é necessária uma reforma tributária que incentive a Logística Reversa, isentando impostos como o PIS, COFINS e ICMS, visto que essas empresas estão fazendo “um serviço público: estamos deixando que a prefeitura colete nas casas por meio das empresas”. Dessa forma, apenas baixar a alíquota e cobrar apenas o imposto de renda de lucro sobre as operações já deixaria a formalidade do mercado mais atrativa. Ele acredita que não precisa incentivar; não cobrar sobre o que não teve receita já bastaria, e acrescentou:

*“Cobrar imposto de resíduo é empurrar para a informalidade. Precisa incentivar, por meio do poder público com políticas públicas, quem faz a logística reversa corretamente. Não é subsidiar, é isenção de imposto porque não tem créditos e paga INSS como qualquer outra empresa e se tira o dinheiro da venda.”* (Entrevistado 5, Organização 4)

Sobre a PNRS e o Acordo Setorial, os entrevistados da Organização 2 acreditam que essas políticas precisam ser mais assertivas. O Entrevistado 2 relatou que a PNRS responsabiliza o fabricante pelo resíduo, mas não o penaliza pelo resíduo que está na rua, sendo portanto ambígua. Seguindo a linha, contou que a política tinha como um dos objetivos trazer o mercado informal para as cooperativas licenciadas, mas que até hoje não se tem uma regra clara sobre como isso irá

funcionar, nem de quais incentivos serão estabelecidos. Afirmou que esse processo está estagnado há 10 anos.

No entanto, o Entrevistado 5 da Organização 4 afirmou que a PNRS é “muito objetiva”, pois fez com que as empresas parassem de leiloar seus equipamentos de forma deliberada, melhorando o descarte dentro do B2B. Sobre o assunto, o entrevistado informou:

*“ [...] se a empresa descartar ilegalmente seus equipamentos por meio de leilões, pode ter problemas tanto ambientais – pelo descarte incorreto do comprador – quanto de TI – pelo hack de informações dentro dos equipamentos que eram da empresa. Com a lei, as empresas cessaram os leilões porque, se não cumprir a lei, elas terão uma exposição terrível.”*

(Entrevistado 5, Organização 4).

Ademais, o Entrevistado 5 acredita que o Acordo Setorial de Eletroeletrônicos “está evoluindo muito bem, porque não depende do poder público”. Porque é uma parceria entre os fabricantes de equipamentos – que pagam R\$3,00/kg de resíduo para fazer a logística e a certificação do descarte – com a gestora Green Eletron, de forma que os operadores de logística reversa devem implementar PEV em esfera federal, que reflete com acordos estaduais e municipais. O entrevistado relatou que o grande problema desse Acordo, que foca em resíduos de pessoas físicas, é que esse descarte não tem valor agregado para a Organização 4, “é obsoleto e não tem condição de condicionamento, é sucata pura”, e o fato de ter baixo valor agregado faz com que o custo da logística seja um fator considerável nessa dinâmica.

Outros desafios de regulamentações também foram coletados. O Entrevistado 2 relatou que conseguiram aprovação em um projeto para acúmulo de créditos de carbono em parceria com uma empresa canadense, e que já estava aprovado e poderia ser vendido. No entanto, o fato de não haver no Brasil uma regulamentação de crédito de carbono fez com que a Organização 2 tivesse que buscar fora do Brasil uma maneira de regulamentar o projeto que estava sendo feito no país. Outro exemplo citado de como as regulamentações podem travar as operações dessas

empresas diz respeito a autorizações para vendas e remanufaturas, conforme explica o Entrevistado 2:

*“Temos legislação para reintroduzir partes e peças de veículos autorizados, fora desses veículos não tem legislação para isso. Se recebo um item da rua e posso retirar uma peça em perfeito estado, eu não posso vendê-la, não tem lastro fiscal para isso. Para poder remanufaturar, preciso de autorização da pessoa que está me dando o bem. Em projetos de outros competidores, no momento que você entrega o equipamento, você assina um termo que concorda que o equipamento pode ser vendido. Se coleto via cooperativa, não tenho autorização do fisco para reinserir o equipamento na rua novamente.”* (Entrevistado 2, Organização 2)

Dessa forma, segundo os entrevistados, os entraves gerados pela legislação são incentivadores para o crescimento do mercado informal em detrimento do mercado informal. Isso ocorre porque, com a legislação da forma que é atualmente, o mercado acaba sendo “desleal”, segundo o Entrevistado 2. Há o crescimento do sucateiro informal que está interessado em ganhar dinheiro de forma rápida e fácil por meio da desmontagem dos equipamentos eletroeletrônicos, retirada dos componentes de maior valor agregado, como as placas de circuito que, segundo o entrevistado 5 são exportadas a R\$60,00/kg, e o descarte incorreto em lixões do restante.

Por conta dessa atividade praticada pelo mercado informal que os entrevistados 2, 3 e 5 enxergam a informalidade como outro desafio a ser superado no setor. De acordo com o Entrevistado 5, os sucateiros informais ganham relevância pelas cooperativas ao incentivá-las a coletar esses resíduos e vender para o sucateiro apenas a placa de circuito por um preço maior que dos resíduos sólidos comuns, como plástico e alumínio. Dessa forma, como a cooperativa não tem infraestrutura para processar o eletrônico, ela faz a extração irregular das placas de circuito, acumula-as para vender pelo quilo e descarta irregularmente o restante do material presente nos REE, já que o mercado informal está interessado apenas nas placas. Nessa linha, o Entrevistado 3 observou existir a divulgação de que os celulares têm ouro e que as pessoas acreditam ser possível ganhar dinheiro coletando as placas,

fazendo com que os sucateiros extraiam as placas e descartem o restante, que contém plástico valioso para a operação da Organização 2.

Outro fator que favorece o sucateiro informal é a falta de pontos de coleta de REE em condomínios. Isso faz com que o consumidor descarte esses resíduos junto com a coleta seletiva tradicional (papel, plástico, metal e vidro), que é coletada pelo catador de cooperativas e o ciclo relatado anteriormente se repete: o informal paga pelas placas do circuito e como resultado há o descarte irregular do restante dos resíduos. Assim, o entrevistado 5 afirma que “a origem do mercado informal é a falta de informação e educação do público que gerou o descarte”, sendo necessário divulgações, projetos educacionais e mobilização por parte da população para que o consumidor seja mais bem informado. A educação precisa estar acompanhada da expansão dos pontos de coleta, o que está sendo feito com o Acordo Setorial.

Além disso, o Entrevistado 5 acredita outra forma de solucionar o problema da informalidade é incorporar as cooperativas para dentro do Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, resultando na formalização, orientação e formação das cooperativas, evitando que elas se submetam aos intermediários.

O aspecto econômico do consumidor também foi apontado pelo Entrevistado 5 como um agravante do mercado informal. Ele exemplificou da seguinte maneira:

*“O consumidor compra um equipamento por 5.000 reais e depois de um tempo percebe que precisa comprar um novo. Se ele quiser descartar na minha empresa, nós pagamos 300 reais pelo equipamento, mas ele não vai achar atrativo – prefere vender em um marketplace, criando um mercado paralelo e fomentando a informalidade.”* (Entrevistado 5, Organização 4).

Com relação à presença do poder público na gestão dos REE, foi consenso entre os entrevistados de que é necessário, sendo que as esferas estaduais e municipais são as mais deficitárias. De acordo com o Entrevistado 3, as prefeituras devem ter mais participação e o governo deve incentivar a educação sobre o descarte correto:

*“O principal foco deve ser as prefeituras, o Brasil é muito grande e não dá para o governo federal ou estadual gerenciar tudo. É uma cadeia muito grande e deve ser uma operação conjunta, devem existir leis que façam com que pessoas sejam incentivadas a descartar e o grande diferencial, onde tudo deve começar é a educação. Se desde o começo educar para fazer separação e não fazer o descarte de maneira incorreta ajuda muito, porque a coleta seletiva só funciona se as pessoas fizerem de maneira correta. Tem gente que descarta eletrônico junto do lixo comum. Precisamos de pontos de coleta sério, gerenciados pela prefeitura junto com as empresas (empresas privadas + prefeituras + associações para organizar e estruturar algo bem consolidado).”* (Entrevistado 3, Organização 2).

O Entrevistado 3 também relatou dificuldades em conseguir autorizações da prefeitura para instalar pontos de coleta:

*“Quando procuramos órgão público, eles falam que podemos colocar ponto de coleta em lugares privados, mas não deixam colocar em local público. A prefeitura tem que ter ações sobre isso, fazer campanhas, tem que ter a participação dela. É a participação do fabricante, do órgão público, do cliente final para todos trabalharem junto”.* (Entrevistado 3, Organização 2).

Sobre a atuação do governo federal nas dinâmicas de coleta e reciclagem de REE, o Entrevistado 5 trouxe para a entrevista um estudo de caso. Nele, o governo federal, alinhado como Ministério da Ciência e Tecnologia, decreta o fim do descarte de REE do governo, sendo possível então leiloá-los. Contudo, existe a lei do desfazimento – uma lei federal em que o governo, antes de leiloar, deve oferecer os REE para os Centros de Recondicionamento de Computadores (CRC), que fazem a mesma operação que a Organização 4. E então caso essas ONGs não tenham condição de receber os REEs, eles vão para leilões. O Entrevistado 5 acredita que esse poderia ser um modelo possível de adotar por destinar – por meio de leis – os REE a organizações que recondicionam esses equipamentos, podendo ser destinados para projetos sociais, por exemplo, e o restante se torna matéria prima para outros mercados.

O entrevistado 5 também explicou que o governo estadual leiloa esses equipamentos para ter um fundo de solidariedade, sendo que poderia doar para projetos sociais. Mas eles seguem com os leilões para ganhar dinheiro, e esses equipamentos leiloados muitas vezes vão para o mercado informal, que não possui CETESB ou licença ambiental e não cumpre com a legislação trabalhista. Dessa forma, o entrevistado acredita que é preciso acabar com esses leilões, mas também apoiar os catadores das cooperativas por meio de sua formalização. Assim, é preciso que o poder público seja presente e que os estados e municípios sejam proativos para entrarem no Acordo Setorial, além de não incluir os sucateiros informais, que exploram os catadores das cooperativas.

Por fim, outro problema que foi relatado pelos entrevistados foi o custo da logística reversa. O Entrevistado 2 afirmou há cadeias de logística bem desenhadas para a entrega, mas que na volta ainda falta recursos e ideias para baratear o custo da logística reversa, “que ainda está muito cara”. Esse também é visto como um dos entraves da competitividade, visto que trazer o resíduo para a fábrica “é muito caro”. O Entrevistado 5 também compartilhou com o problema de custos logísticos, exemplificando a complexidade de coletar os resíduos eletrônicos de um grande atacadista com presença em todo o território nacional.

Além dos desafios enfrentados pelas empresas, os entrevistados trouxeram algumas práticas internacionais que poderiam ser exploradas no país. O Entrevistado 2 citou a isenção de algumas taxas em países como EUA e da Europa, o que seria interessante para o Brasil tornar a reciclagem dos REE em algo além de uma iniciativa, mas num *business* consolidado. Relatou também que há concorrentes do Canadá e dos EUA que tem volumes de coleta muito elevados, o que os torna altamente rentáveis, o que gera mais investimento disponível para tecnologias de reciclagem. Também afirmou que:

*“Dispor de muito dinheiro para investir em uma tecnologia e não ter o retorno acaba fazendo com que o Brasil fique mais lento, e não é só na logística reversa.”* (Entrevistado 2, Organização 2).

O Entrevistado 5 compartilhou seus conhecimentos sobre iniciativas internacionais. Ele disse que, nos EUA e na Europa há uma troca muito rápida de

equipamentos (em contraste com o uso extensivo dos equipamentos no Brasil), visto que o custo de manufatura é menor. Isso faz com que o mercado informal seja mínimo e com que exista um grande mercado de seminovos em grandes lojas, como a Best-Buy, que comercializa tanto o equipamento novo como o usado, que é respeitado no exterior por existirem leis que garantem a qualidade desse produto. Relatou também que visitou 32 recicladoras dos EUA e nelas, 40% dos REE coletados são recondicionados (em contraste com os 20% coletados pela Organização 4). Além disso, é um dos 5 países que possui usinas siderúrgicas que fazem o processamento das placas de circuito, facilitando a reinserção desse componente na linha produtiva. A maior diferença, segundo o entrevistado, é que a lei funciona lá, há legislações que incentivam os recondicionadores e os reciclagens e praticamente não existe o sucateiro de REE porque as empresas são formais, não há necessidade da informalidade porque não tem imposto ou tributação; são inclusive beneficiados por políticas públicas

Sobre o futuro da gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, os entrevistados também salientaram a necessidade de existir engajamento de todas as cadeias para que haja a economia circular. Nesse mercado, o que é resíduo para uma empresa pode ser matéria prima para outra e há o movimento de deixar de abordar as demais empresas como concorrentes e tratá-las como parceiras, justamente para se beneficiarem com os componentes mais atrativos para cada modelo de negócio.

#### **4.2.3 Desafios nas Cooperativas**

Dentre os desafios enfrentados pelas cooperativas, os que se destacaram nas entrevistas foram a falta de conscientização da população sobre o descarte correto dos REE, a omissão das prefeituras, as comissões pagas aos intermediários e a logística de coleta seletiva de porta a porta.

Sobre a falta de conscientização, os entrevistados relataram o seguinte:

*“É um processo difícil, porque a população não tem muita noção do que é reciclagem. Eles sabem que podem enviar o eletrônico para cá, mas não sabem quais eletrônicos podemos receber.”* (Entrevistado 6, Organização 5).

*“As pessoas não fazem ideia de que devem fazer a separação dos resíduos. Eles pensam que ter uma cooperativa por trás dá o direito de descartar qualquer coisa.”* (Entrevistado 6, Organização 5).

Com relação ao poder público, ambas as cooperativas sentem omissão das prefeituras, mesmo com a PNRS exigindo que ele seja o maior agente incentivador da política. Múltiplas vezes foram relatados casos de burocratizações que pausam operações das cooperativas e atrasam a realização de seus serviços, como observado nos relatos abaixo:

*“Há dois anos, a prefeitura vendeu todo o lixo eletrônico a um preço barato ao invés de doar para nós, e o comprador desmontou, retirou o que era de interesse e jogou o restante fora.”* (Entrevistado 6, Organização 5).

*“A burocratização também atrapalha a nossa operação. Queríamos instalar um coletor de vidros planejado por nós e a prefeitura não deixou por conta de burocracia. Outro caso foi uma farmácia que nos contatou para montar um ponto de REE dentro do estabelecimento e a prefeitura novamente não autorizou por falta de licenças. Ficamos engessados.”* (Entrevistado 7, Organização 6)

A coleta de resíduos de porta a porta é uma abordagem que a Organização 5 adota, mas admitiu pontos negativos do modelo devido à disparidade de renda entre os bairros:

*“Coleta seletiva de porta a porta é muito complicado. Tem o bairro mais rico da cidade que gera um volume bem menor (2t/semana), mas que tem valor elevado (5 mil reais). E o bairro mais populoso, que gera semanalmente 3 a 4 toneladas, mas com valor reduzido (500 reais). Assim, a coleta seletiva é complicada porque não tem como definir o que chega, recebemos de tudo.”* (Entrevistado 6, Organização 5).

A presença do intermediário também representa um obstáculo para a Organização 5, por conta da comissão cobrada sobre a venda das *commodities* para os clientes. O entrevistado 6 descreve esses desafios:

*“Os desafios que temos é retirar o atravessador do meio, não que não esteja bom com a IWRC, mas esse ganho que poderíamos somar seria um valor significativo. Eles fazem logística de 40 cooperativas do Brasil, são parceiros e entendemos que precisa ter a comissão. A gente vendia o eletrodoméstico, junto com a Organização 2, para outra empresa, e conversando com a associação, poderíamos enviar direto, mas não atingimos a cota anual. É aí que entra a IWRC, eles concentram os resíduos das cooperativas para atingir a cota mínima, mas ano que vem tentaremos atingir isso”.* (Entrevistado 6, Organização 5).

Bem como observado nas entrevistas das empresas, as cooperativas também enxergam a isenção ou diminuição de impostos como atrativos para o setor, e modo a tornar mais competitivo e atrativo quando comparado ao mercado informal. O Entrevistado 6 relatou que talvez a reforma tributária isente as cooperativas de PIS e COFINS, mas o restante da cadeia continuaria pagando.

O mercado de fato é visto como uma ameaça para as cooperativas, visto que eles oferecem serviços mais baratos – pelo fato de não serem licenciados e não pagarem impostos – fazendo com que as cooperativas por vezes percam o serviço. Foi relatado pelo Entrevistado 7 que esse serviço informal já resultou em multas para um ex-cliente que os trocara por um sucateiro sem licenças, e ressaltou que vai da consciência do cliente contratar um serviço barato e informal ou um mais caro e formal.

A respeito de medidas que poderiam ser tomadas para melhorar a situação das cooperativas, o Entrevistado 6 relatou o seguinte:

*“Precisamos de uma ação mais efetiva do poder público municipal, para que a PNRS seja de fato executada no município. Deve ser uma imposição separar e destinar a cooperativas – se existirem. Esse é o primeiro ponto: obrigatoriedade da destinação dos resíduos, partindo dos órgãos públicos até as residências. O segundo ponto é ter uma política correta disso, porque hoje não está finalizada a questão da logística reversa dos eletrônicos. Está em negociação, mas não tem uma central de custódia das notas, um operador logístico. Então, o eletrônico que recolhemos hoje, a indústria é obrigada a*

*retirar do mercado, mas não nos pagam. E se está pagando, não estamos recebendo”* (Entrevistado 6, Organização 5).

Se medidas eficazes forem tomadas, o Entrevistado 6 prevê que, nos próximos 5 anos, haja um aumento de 50% no volume de resíduos eletroeletrônicos que são recolhidos pelas cooperativas.

## 5 CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho tem como objetivo investigar o processo produtivo e operação das instituições brasileiras de coleta e reciclagem de REE, bem como identificar os desafios percebidos por seus profissionais, tanto a respeito da dinâmica interna da organização quanto a respeito de aspectos externos a ela.

Para atingir esse objetivo foram realizadas sete entrevistas em seis organizações. A Organização 1, uma ONG coletora e recicladora dos REE; a Organização 2, uma empresa coletora de REE e recicladora de plástico ABS; a Organização 3, uma gestora sem fins lucrativos de REE responsável pela coleta de pessoas físicas e jurídicas; a Organização 4, uma empresa de recondicionamento de equipamentos da linha verde; e as Instituições 5 e 6, cooperativas de coleta de resíduos sólidos e eletrônicos.

Observou-se que os desafios relatados pelos entrevistados dialogam com os obstáculos encontrados na literatura, referentes principalmente à falta de conscientização da população sobre o descarte dos REE, à mentalidade do brasileiro em acumular equipamentos eletrônicos – mesmo que em desuso e obsoletos – à necessidade de amadurecimento de políticas públicas e legislações que incentivem a circularidade dos REE e à ameaça dos mercados informais.

Como possíveis medidas a se tomar para ultrapassar esses obstáculos, destaca-se a permanência da implementação do Acordo Setorial, que prevê a coleta e reciclagem formal de 17% em peso dos REE gerados pelo país em 2025, a adoção de políticas públicas que isentem as instituições inseridas nesse setor de alguns impostos – de forma a tornar atrativa a formalidade do setor, como é em países com altas taxas de coleta e reciclagem – e o investimento em campanhas de conscientização sobre o descarte correto dos REE, bem como seus benefícios e malefícios, tanto por parte do poder público quanto pelas empresas privadas.

Como próximos passos para o desenvolvimento desse estudo, recomenda-se aprofundar os estudos empíricos por meio de entrevistas com instituições com diferentes funções das entrevistadas durante o presente trabalho, como órgãos públicos e empresas tradicionais fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, a fim de coletar visões de diferentes organizações a respeito da atividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABDI (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Brasília, nov. 2012. Disponível em: [https://www.comexresponde.gov.br/portalmdic/arquivos/dwnl\\_1416934886.pdf](https://www.comexresponde.gov.br/portalmdic/arquivos/dwnl_1416934886.pdf)

Azevedo, L., Araújo, F. **E-waste management and sustainability: a case study in Brazil, Environmental Science and Pollution Research, Vol 24, Setembro 2017, pg 25221–25232.** Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0099-7>

Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015), **The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany.** Disponível em: <https://i.unu.edu/media/ias.unu.edu-en/news/7916/Global-E-waste-Monitor-2014-small.pdf>

Brasil. **Decreto Federal 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. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm).

C.P. Baldé, E. D'Angelo, V. Luda O. Deubzer, and R. Kuehr (2022). **Global Transboundary E-waste Flows Monitor - 2022, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Bonn, Germany.** Disponível em: [https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2022/06/Global-TBM\\_webversion\\_june\\_2\\_pages.pdf](https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2022/06/Global-TBM_webversion_june_2_pages.pdf)

CHARTER, Martin., **Designing fot the Circular Economy.** Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ZEpnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT197&dq=%22The+Potential+for+Substituting+Manpower+for+Energy%22&ots=nKyQodtRoL&sig=6Yrsut7rY74lhZ-nHVoqPbYGms0#v=onepage&q=%22The%20Potential%20for%20Substituting%20Manpower%20for%20Energy%22&f=false>

De Vincenzi, T., Piao, R., Vazquez-Brust, D., de Carvalho, M. (2021). **The Coordination of Packaging Recycling Chain in Brazil.** In: Tavares Thomé, A.M., Barbastefano, R.G., Scavarda, L.F., Gonçalves dos Reis, J.C., Amorim, M.P.C. (eds) **Industrial Engineering and Operations Management. IJCIEOM 2021. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol 367. Springer, Cham.** Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78570-3\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78570-3_32)

Dhir, A.; Malodia, S.; Awan, U.; Sakashita, M.; Kaur, P. **Extended valence theory perspective on consumers' e-waste recycling intentions in Japan, Journal of Cleaner Production, Volume 312, 2021, 127443, ISSN 0959-6526.** Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127443>.

European Commission-RoHS Directive. **Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment.** Brussels, Belgium: European Commission; 2003. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:en:PDF>

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. 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)

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **Towards the Circular Economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition** (2013). Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/>

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR - **Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe.** (2015). Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>

GEISSDOERFER, Martin; SAVAGET, Paulo; BOCKEN, Nancy M.P.; HULTINK, Erik Jan. **The Circular Economy – A new sustainability paradigm?** Journal of Cleaner Production, vol. 143, p. 757–768, 1 fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULCIATI, Sergio. **A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems.** Journal of Cleaner Production, vol. 114, p. 11–32, 15 fev. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.

Grant, K., et al. **Health consequences of exposure to e-waste: a systematic review,** Lancet Glob Health, Vol 1, Dezembro 2013, pg 350-361. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S2214-109X\(13\)70101-3](http://dx.doi.org/10.1016/S2214-109X(13)70101-3)

Green Eletron. **Resíduos eletrônicos no Brasil 2023.** Disponível em: [https://greeneletron.org.br/download/RELATORIO\\_DADOS\\_2023.pdf](https://greeneletron.org.br/download/RELATORIO_DADOS_2023.pdf)

GUREVA, M.A., DEVIATKOVA, Y.S. (2020). **Formação do conceito de uma economia circular.** Revista S&G 15, 2, 156-169. Disponível em: <https://revistas.emnuvens.com.br/sg/article/view/1656>

Kaya, M. **Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes,** Waste Management, Vol 57, Agosto 2016, pg 64-90. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.004>

Kiddee P., Naidu R., Wong M. **Electronic waste management approaches: An overview.** Waste Management, vol 33, issue 5, pg 1237 – 1250. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.006>

KIRCHHERR, Julian - **Circular economy business models: The state of the art** (2016). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071>

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. **Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions.** Resources, Conservation and Recycling, vol. 127, p. 221–232, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

Kumar A., Holuszko M., Espinosa D. **E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices.** Resources, Conservation and Recycling, vol. 122, Fevereiro 2017, pg 32-42. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018>

F. Magalini and J. Huisman. **Management of WEEE & Cost Models across the EU Could the EPR principle lead US to a better Environmental Policy?** Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Orlando, FL, USA, 2007, pp. 143-148. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISEE.2007.369383>.

M.E. Toxopeusa, B.L.A de Koeijera , A.G.G.H. Meijb. **Cradle to Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice?** Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115001110?pes=vor>

MORSELETTO, Piero. **Targets for a circular economy.** Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>

Neto, G., Correia, A., Schroeder, A. **Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland.** Resources, Conservation & Recycling, Vol 127, Agosto 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.011>

ONU. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil, 2015.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

ORMAZABAL, Marta; PRIETO-SANDOVAL, Vanessa; PUGA-LEAL, Rogério; JACA, Carmen. **Circular Economy in Spanish SMEs: Challenges and opportunities.** Journal of Cleaner Production, vol. 185, p. 157–167. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.031>.

RANIGA, Usha. **Using the ReSOLVE framework for circularity in the building and construction industry in emerging markets.** Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/294/1/012002/pdf>

RIZOS, Vasileios; TUOKKO, Katja; BEHRENS, Arno. **The circular economy, a review of definitions, processes and impacts.** CENTRE FOR EUROPEAN POLICY STUDIES (BRUSSELS, Belgium), p. 1-44, abr. 2017. Disponível em: [https://www.ceps.eu/download/publication/?id=9969&pdf=RR2017-08\\_CircularEconomy\\_0.pdf](https://www.ceps.eu/download/publication/?id=9969&pdf=RR2017-08_CircularEconomy_0.pdf)

Santos, S.; Ogunseitan, O. **E-Waste management in Brazil: Challenges and opportunities of a reverse logistics model.** Environmental Technology & Innovation, Vol 28, Maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102671>

Shittu O., Williams I., Shaw P. **Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges.** Waste Management, vol. 120, Dezembro 2020, pg 549-563. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.016>

Song, X., Lu, B., Wu, W. **Environmental Management of E-waste in China, Electronic Waste Management and Treatment Technology,** 2019, pg 285-310. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816190-6.00013-3>

Souza, R. et al. **Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil**, Waste Management, Fevereiro 2016, pg 46-56. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.034>

Souza, R. **E-waste situation and current practices in Brazil**, Handbook of Electronic Waste Management, 2020, pg 377-396. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00009-7>

STUCHTEY, Martin – **Circular project selection: How companies can evaluate circular innovation projects** Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85119196582&origin=resultslist&sort=plf-f>

SU, Biwei; HESHMATI, Almas; GENG, Yong; YU, Xiaoman. **A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation.** Journal of Cleaner Production, vol. 42, p. 215–227, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>

Surak, S. M. **Extended producer responsibility**. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <https://www.britannica.com/money/topic/extended-producer-responsibility>

TUKKER, Arnold. **Product services for a resource-efficient and circular economy - A review**. Journal of Cleaner Production, vol. 97, p. 76–91, 15 jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.049>.

Vats, M., Singh, S. **Status of E-Waste in India - A Review**, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol 3, Outubro 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2014.0310071>

WALTER R. STAHEL - **"The Performance Economy: The Economy of Function and Sustainability"** (2010). Disponível em: [https://www.globe-eu.org/wp-content/uploads/THE\\_PERFORMANCE\\_ECONOMY1.pdf](https://www.globe-eu.org/wp-content/uploads/THE_PERFORMANCE_ECONOMY1.pdf)

Wan-Dong Yang, Qing Sun, Hong-Gang Ni. **Cost-benefit analysis of metal recovery from e-waste: Implications for international policy**, Waste Management, Vol 123, Março 2023, pg 42-47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.023>

Ward, Bob; Hicks, Naomi. **What is the polluter pays principle?**, The Guardian, 2012. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2012/jul/02/polluter-pays-climate-change>

WEBSTER, Ken. – **A Circular Economy Is All About the Economy**. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-021-00034-z>



## **APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DAS ENTREVISTAS – EMPRESAS**

### **COLETORAS E TRATADORAS DE RESÍDUOS**

#### **Introdução:**

1. Por favor, faça uma breve apresentação sobre você.

#### **Desafios e Regulamentações:**

2. Quais são os principais problemas enfrentados pela empresa na gestão de resíduos eletrônicos?
3. Como a empresa lida com a legislação ambiental e regulamentações relacionadas à gestão de resíduos eletrônicos?
4. A empresa está envolvida em iniciativas de conscientização ambiental junto à comunidade?
5. Como a empresa enxerga desafios específicos na coleta e reciclagem de dispositivos obsoletos ou em desuso?
6. Você percebe falta de infraestrutura adequada para a coleta e reciclagem de resíduos, que pode dificultar a implementação de práticas circulares?
7. Quais são os principais obstáculos enfrentados devido à falta de incentivos financeiros para a adoção de práticas circulares? Existe cooperação efetiva entre diferentes setores e partes interessadas nesse contexto?
8. Como a empresa percebe a necessidade de mudanças culturais e comportamentais para promover a economia circular, especialmente considerando que isso requer uma mudança na forma como as pessoas consomem e descartam produtos?
9. Quais são as barreiras de mercado específicas que a empresa enfrenta em relação ao uso de resíduos reciclados, especialmente considerando que muitos resíduos reciclados no Brasil têm baixo valor de mercado? Essa dinâmica é diferente quando se trata de resíduos de eletroeletrônicos, que contêm metais preciosos?
10. Como a empresa lida com a falta de aplicação consistente da legislação ambiental no Brasil? Isso cria desafios ou incertezas ao investir em tecnologias de economia circular?

#### **Estratégias e Visão de Futuro:**

11. Como a empresa garante a rastreabilidade e transparência em seus processos de reciclagem?

12. Há parcerias ou colaborações com outras empresas ou entidades para melhorar a eficiência da reciclagem?
13. Como a empresa enxerga o futuro da reciclagem de eletroeletrônicos no Brasil?

**Comparações Internacionais:**

14. Existem diferenças significativas nos processos de reciclagem em comparação com países mais avançados nessa área?
15. Quais aprendizados ou boas práticas a empresa pode compartilhar com base em sua experiência no setor de reciclagem de eletroeletrônicos?

**Encerramento:**

16. Muito obrigado pelo tempo que você dispôs para essa entrevista! Existe algum ponto adicional que você gostaria de falar sobre o tema que não foi contemplado nas perguntas anteriores?

## APÊNDICE B – PESQUISA SECUNDÁRIA

Tabela 6: Dados das pesquisas secundárias

Organização	Fonte de dado secundário
Organização 1	Site institucional da Organização 1
Organização 2	Site institucional da Organização 2
	Alvará de funcionamento municipal
	Redes sociais da Organização 2
Organização 3	Site institucional da Organização 3
Organização 4	Site institucional da Organização 4
	Apresentação institucional montada pelo entrevistado
Organização 5	Site institucional da Organização 5
Organização 6	Site institucional da Organização 6