

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Carolina Tiemi Takano

Reciclagem de Produtos Eletroeletrônicos: Revisão Sistemática para Identificar
Fatores de Influência

São Carlos

2023

Carolina Tiemi Takano

Reciclagem de Produtos Eletroeletrônicos: Revisão Sistemática para Identificar
Fatores de Influência

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Janaina Mascarenhas Hornos da Costa

Coorientadora: Camila Gonçalves Castro

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

T136r Takano, Carolina Tiemi
Reciclagem de Produtos Eletroeletrônicos: Revisão Sistemática para Identificar Fatores de Influência / Carolina Tiemi Takano; orientadora Janaina Mascarenhas Honos da Costa; coorientadora Camila Gonçalves Castro. São Carlos, 2023.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2023.

1. Reciclagem. 2. Eletroeletrônicos. 3. Economia Circular. 4. Revisão Sistemática. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Carolina Tiemi Takano**

Data da Defesa: 10/11/2023

Comissão Julgadora:

Resultado:

Janaina Mascarenhas Hornos da Costa (Orientador(a))

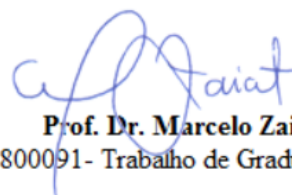
Aprovada

Camila Gonçalves Castro

Aprovada

Lucas Gabriel Zanon

Aprovada



Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho, seja diretamente ou em forma de inspiração, agradeço aqueles que me incentivaram e acreditaram no meu potencial.

Em especial, aos meus pais, que sempre se esforçaram para me prover estudo e por sonharem junto comigo com a formação em uma universidade pública. À minha mãe, Andréa, por me auxiliar nos estudos para as provas quando eu era menor e por sempre acreditar em mim. E ao meu pai, Nelson, pelos finais de semana dedicados a me ensinar a tabuada e por me encorajar a prestar a FUVEST, reconhecendo minha capacidade de ser convocada. Além disso, sou grata por me amarem incondicionalmente e me tornarem a pessoa que sou hoje.

Ao meu noivo, Felipe, pelo companheirismo tanto no ensino médio quanto na graduação e nosso crescimento junto, por escolher viver a vida comigo nos meus melhores e piores momentos, além de me fazer muito feliz e me incentivar a ser a melhor versão de mim.

À minha melhor amiga, companheira de sala e casa, Isis, por escolher morar comigo durante o curso, por estar presente nos dias e noites de estudo, dedicação e desespero e, também, nos momentos mais memoráveis da graduação.

A todos os amigos e amigas que fiz durante a vida, por fazerem essa jornada ser mais leve e divertida.

Aos colegas da Ambiental, sobretudo da turma 018, por me acolherem e tornarem a faculdade repleta de memórias inesquecíveis.

Aos colegas das extracurriculares (ENGAJ, SEA e Operação Natal) que participei durante o curso, pelo aprendizado e motivação durante todos esses anos.

Aos funcionários e professores da USP São Carlos, em especial da Engenharia Ambiental, pelos ensinamentos e por despertarem em mim o amor pela profissão que escolhi.

A todos os professores que participaram da minha vida estudantil, pela dedicação e esforço em ensinar, razão que me permitiu chegar até aqui.

À minhas orientadoras, Janaina e Camila, pelos conhecimentos passados e pela oportunidade de escrever o presente trabalho.

À minha cachorrinha, Catie, por me acompanhar nas aulas durante a pandemia e me alegrar diariamente.

A todos que pertencem e já pertenceram ao CAASO, por me proporcionarem esse lugar que mudou a minha vida.

RESUMO

TAKANO, C. T. **Reciclagem de Produtos Eletroeletrônicos: Revisão Sistemática para Identificar Fatores de Influência.** 2023. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Atualmente, o modelo linear adotado pela maioria dos países tem sido questionado com maior frequência diante do aumento na geração de resíduos, impulsionados pelos avanços tecnológicos, inovações incrementais e obsolescência programada dos eletroeletrônicos cada vez mais recorrentes, instigando o descarte desenfreado desses aparelhos. A implementação da economia circular, é apresentada como uma das principais soluções para que haja redução do lixo eletroeletrônico gerado, pois o modelo de negócio em questão propõe conceitos de redução, reutilização e reciclagem, assim como, a aplicação da logística reversa, minimizando os impactos negativos a serem causados ao meio ambiente e saúde pública, devido os componentes tóxicos, acarretados pelo descarte incorreto dos eletroeletrônicos. O presente trabalho tem o intuito de mapear e categorizar os fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos, identificando os principais atores relacionados a esse processo. Para isso, utilizou-se como metodologia a revisão sistemática da literatura, na qual definiu-se palavras-chaves e critérios para seleção dos 36 artigos que embasaram essa discussão. Assim, os fatores encontrados durante a análise dos documentos foram categorizados por similaridade e agrupados em 4 níveis (individual, organizacional, ecossistêmico e político), a fim de sintetizar as reflexões observadas. Apesar desses diversos estudos e iniciativas em prol da transição do modelo linear para a economia circular, há um longo caminho a ser percorrido, devido à existência de diversas lacunas no processo, como os custos para adequação de processos produtivos já estabelecidos, baixos incentivos financeiros perante as empresas recicladoras e consumidores assim como a má gestão do sistema de coleta e falta de fiscalização do processo. Entretanto, essa transição pode ser facilitada pela colaboração dos atores envolvidos por meio incentivos financeiros, divulgação do conhecimento pertinente ao assunto, promulgação de leis que incentivem a mudança, monitoramento do sistema de gestão dos resíduos e logística reversa, entre outros. Dessa forma, governo precisa ser destacado como principal agente da mudança, pois por meio da criação de leis, incentivos fiscais e divulgações de informações a reciclagem de eletroeletrônicos passa a ser estimulada também pelos demais atores.

Palavras-chave: Reciclagem. Eletroeletrônicos. Economia Circular. Revisão Sistemática.

ABSTRACT

TAKANO, C. T. **Electroelectronic Products Recycling: Systematic Review to Identify Influencing Factors**. 2023. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Currently, the linear model adopted by most countries has been increasingly questioned in the face of the rise in waste generation, driven by technological advances, incremental innovations, and the increasingly prevalent planned obsolescence of electroelectronics, prompting the unbridled disposal of these devices. The implementation of the circular economy is presented as one of the main solutions to reduce the generated electroelectronic waste, as this business model proposes concepts of reduction, reuse, and recycling, as well as the application of reverse logistics, minimizing the negative impacts on the environment and public health due to toxic components resulting from the improper disposal of electroelectronics. This paper aims to map and categorize the factors influencing the recycling of electroelectronics, identifying the key actors involved in this process. For this purpose, a systematic literature review was used as the methodology, defining keywords and criteria for the selection of the 36 articles that underpinned this discussion. Thus, the factors found during the analysis of the documents were categorized by similarity and grouped into four levels (individual, organizational, ecosystemic, and political) to synthesize the observed reflections. Despite these various studies and initiatives in favor of the transition from the linear model to the circular economy, there is a long way to go due to the existence of several gaps in the process, such as the costs for adapting already established production processes, low financial incentives for recycling companies and consumers, as well as the poor management of the collection system and lack of oversight in the process. However, this transition can be facilitated by the collaboration of the involved actors through financial incentives, dissemination of relevant knowledge, enactment of laws that encourage change, monitoring of the waste management system and reverse logistics, among other measures. In this way, the government needs to be highlighted as the main agent of change, as through the creation of laws, tax incentives, and information dissemination, the recycling of electroelectronics becomes stimulated by other actors as well.

Keywords: Recycling. Electroelectronic. Circular Economy. Systematic Review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo da Logística Reversa de Eletroeletrônicos no Brasil	6
Figura 2 - Resultados da busca na plataforma Scopus	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Protocolo de busca	9
Tabela 2 – Aplicação da metodologia de ciclos de códigos	11
Tabela 3 - Fatores de nível individual	12
Tabela 4 - Fatores de nível organizacional	14
Tabela 5 - Fatores de nível ecossistêmico	15
Tabela 6 - Fatores de nível político	17

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Fundamentos da Economia Circular	3
2.2. A circularidade dos eletroeletrônicos	4
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivos Específicos	7
4. METODOLOGIA.....	8
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5.1. Nível Individual.....	12
5.2. Nível Organizacional	13
5.3. Nível Ecosistêmico.....	15
5.4. Nível Político	17
5.5. Âmbitos de atuação e principais responsáveis no processo de reciclagem de eletroeletrônicos	18
6. DISCUSSÃO.....	19
7. CONCLUSÃO	20
8. Apêndice A – Artigos resultantes do protocolo estabelecido na Tabela 1	26

1. INTRODUÇÃO

Devido a inovação tecnológica, a troca de eletroeletrônicos tem sido cada vez mais frequente, aumentando a geração desses resíduos com potencial de causar impactos à saúde e ao meio ambiente quando descartados incorretamente (Aparecida De Almeida et al., 2015). Sabe-se que o lixo eletroeletrônico possui substâncias como metais tóxicos e poluentes orgânicos persistentes (Attia et al., 2021) e representa 70% dos resíduos perigosos que acabam sendo encaminhados para aterros (Kitila, 2018). Porém, esses impactos negativos dos eletroeletrônicos podem ser evitados, por meio do conceito da economia circular, no qual todas as fases do ciclo de vida desses aparelhos devem estar conectadas entre si e a um sistema de reciclagem de eletroeletrônicos (Ottoni et al., 2020). Assim, a economia circular (EC) pode representar uma solução prática para as limitações dos recursos planetários, no entanto para obtenção de sucesso, é necessário o envolvimento dos seus diversos atores, como exemplo podem ser citados os próprios consumidores (Kuah & Wang, 2020).

Apesar da ideia de EC como solução dessa questão, segundo Pedro et al. (2021), as taxas de reciclagem dos eletroeletrônicos não têm acompanhado o aumento da geração desses aparelhos, de modo que em escala mundial cerca de 17,4% são reutilizados, na América Latina apenas 11% e na cidade de São Paulo (Brasil) somente 3% dos eletroeletrônicos são reciclados. De acordo com Borthakur et al. (2019), a falta de conhecimento dos consumidores sobre coleta e reciclagem de lixo eletroeletrônico é um dos fatores críticos para que a gestão sustentável desses aparelhos não seja efetiva. Dessa forma, medidas como campanhas de consumo, logística reversa, reaproveitamento e reciclagem, podem reduzir os impactos a serem gerados pelos eletroeletrônicos (Alves et al., 2013)

Segundo Islam & Huda (2018), parte dessa dificuldade se deve também às inúmeras variáveis do processo de reciclagem eletroeletrônicos, pois a enorme quantidade gerada advém de fontes distintas com diferentes métodos de coleta e após a desmontagem, dependendo do conteúdo do material e proposta de valor, ele pode ser encaminhado para disposições variadas, dificultando a assertividade da escolha. Dessa forma, para favorecer a reciclagem futura, produtos criados a partir do conceito de ecodesign podem ser naturalmente desmontados a fim de recuperar os materiais incorporados, facilitando a relação entre produtores e recicladores (Kastanaki & Giannis, 2021). Além disso, esforços conjuntos entre iniciativa privada, cooperativas e governo para divulgar o conhecimento acerca do descarte, da coleta e do reaproveitamento correto dos eletroeletrônicos com auxílio dos meios de comunicação e de

programas educativos nas escolas e regiões, podem colaborar para minimizar a falta de conhecimento e informação acerca do tema (Pedro et al., 2021).

No Brasil, apesar da existência de postos de coleta voluntária em locais estratégicos, a recolha em domicílio, em empresas e a entrega diretamente nas instalações de reciclagem, o processo de coleta ainda é um dos principais desafios para a reciclagem no país, ademais a falta de legislação específica, o sistema de coleta precário e a baixa disponibilidade de pontos de recolha justificam o ínfimo índice de descarte de lixo eletroeletrônico por habitante na cidade de São Paulo (Brasil), todavia a maioria dos brasileiros demonstra interesse de reciclar corretamente seus eletroeletrônicos (Lopes dos Santos, 2020).

Assim, nota-se a importância da reciclagem dos eletroeletrônicos, impulsionada pela economia circular, com intuito de prevenir os impactos negativos que podem ser causados diante da má gestão desse tipo de resíduo e de modo a aproveitar a disposição dos consumidores brasileiros de aprender sobre a reciclagem e sobre a destinação adequada dos eletroeletrônicos. Além disso, existem diversos novos estudos acerca do tema relacionando os eletroeletrônicos com a logística reversa e economia circular, porém é observada a necessidade de condensá-los, facilitando o entendimento e promovendo a discussão do assunto. Diante disso, ao final deste trabalho, serão apresentados como resultado os principais fatores que influenciam a reciclagem de eletroeletrônicos, os quais foram classificados nos níveis individual, organizacional, ecossistêmico e político diante da leitura de estudos de caso reportados nos artigos, bem como os principais âmbitos de atuação dos responsáveis pelo processo de reciclagem de eletroeletrônicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fundamentos da Economia Circular

O conceito de economia circular existe há mais de duas décadas, porém mesmo depois desse período, ainda apresenta diversas definições. Sabe-se que o modelo de negócio linear, impulsiona a ideia de “fim de vida”, já a EC pode ser definida como um sistema econômico baseado nas noções de redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais, a fim de promover o desenvolvimento sustentável, ou seja, pela manutenção dos interesses sociais, ambientais e econômicos de modo equilibrado e em benefício das gerações atuais e futuras como intuito de substituir o modelo linear (Cordova-Pizarro et al., 2019). Nessa perspectiva, segundo Sehnem & Pereira (2019) ressalta-se que a tendência natural dos processos terrestres é caracterizada por um sistema fechado, na qual a economia e o meio ambiente não são determinados por interligações lineares, mas por uma relação circular que deve ser estendida para os processos industriais, englobando a gestão de resíduos e escassez de recursos, a eficiência energética e de conservação, o manejo da terra e proteção do solo e os problemas de gestão de recursos hídricos integrados.

Segundo Cordova-Pizarro et al. (2019), a EC também pode ser dividida em três níveis, em que o nível micro refere-se a produtos, empresas e consumidores, o nível meso refere-se a parques eco-industriais e nível macro refere-se a cidades, regiões, nações e além. Ademais, de acordo com Potting et al. (2017), as estratégias circulares na cadeia produtiva podem ser separadas em: recusar (R0), repensar (R1), reduzir (R2), reutilizar (R3), reparar (R4), reformar (R5), remanufaturar (R6), reaproveitar (R7), reciclar (R8) e recuperar (R9), nota-se que o uso de produtos mais inteligentes (R0 a R2) são mais vantajosos em relação a extensão da vida útil do produto (R3 a R7), assim como, a reciclagem de materiais e a recuperação de energia (R8 e R9) possuem a mais baixa prioridade em relação aos demais R's. Assim, faz-se necessário mencionar também sobre o “diagrama de borboleta”, que é explicado pelo Portal Ellen Macarthur Foundation como ilustração do fluxo contínuo de materiais na economia circular podendo ser um ciclo do tipo técnico, em que se mantêm os produtos e materiais em circulação por meio de reuso, reparo, remanufatura e reciclagem ou um ciclo biológico, em que os nutrientes de materiais biodegradáveis são devolvidos à Terra para regeneração.

Dessa forma, novos modelos de negócios são sugeridos para favorecer a transição para a economia circular com enfoque na reutilização e redução de recursos consumidos, prolongando o tempo de vida dos recursos (Cordova-Pizarro et al., 2019). Segundo Sehnem &

Pereira (2019) a EC visa modelos de negócios mais inovadores, com maiores ganhos no desempenho, exigindo que os fabricantes pensem diferentemente sobre produtos e, também, sejam responsáveis por eles até o final do ciclo de vida. Para exemplificar, pode-se mencionar o modelo de negócio Produto-Serviço-Sistema (PSS) ou economia compartilhada, em que os consumidores são desestimulados a ter o produto que desejam, mas sim alugá-lo, de forma a obter somente sua função (Laurenti et al., 2016). Nesse modelo, o produto não pertence ao consumidor, porém ele usufrui de todos os benefícios associados (Martin et al., 2021), o que o caracteriza como um modelo de transição da EC, havendo mudança sócio-institucional central e facilitada pela tecnologia (Potting et al., 2017).

Todavia, existem incertezas acerca da substituição por completo de produtos lineares convencionais por produtos circulares, alguns autores inclusive argumentam que a única diferença entre uma economia linear e uma circular seria a postergação do impacto ambiental negativo (Corvellec et al., 2022). Apesar da EC parecer ser um conceito promissor pela capacidade de atrair o meio empresarial em prol do desenvolvimento sustentável, Korhonen et al. (2018), enfatiza que todas as atividades econômicas consomem energia, isto é, até mesmo os processos reciclagem, reutilização e refabricação amplamente difundidos na economia circular geram impactos ambientais, poluição e geração de resíduos, além da utilização recursos ou até esgotamento deles se não forem bem dimensionadas. Assim, atribui-se a noção de efeito rebote, isto é, a compensação dos benefícios do processo pelo aumento da produção global em virtude das atividades da economia circular, por exemplo, pela inexistência de mercado disposto a absorver o material reciclado, resultando em um maior gasto energético e, posterior, deposição do material em aterros ou processo de incineração (Castro et al., 2022; Zink & Geyer, 2017).

2.2. A circularidade dos eletroeletrônicos

O lixo eletroeletrônico pode ser caracterizado por materiais que estejam obsoletos, quebrados ou estragados como eletrodomésticos, televisores e celulares, devido à obsolescência tecnológica, a troca desses equipamentos por versões mais atuais se torna cada vez mais acelerada, aumentando a geração desse resíduo que quando não descartado adequadamente podem ocasionar problemas para o meio ambiente e para a saúde humana por apresentar elementos tóxicos diversos, como mercúrio, chumbo, cádmio (Gutierrez et al., 2017)

Diante disso, a reciclagem de eletroeletrônicos e recuperação eficiente desses materiais é uma solução para os problemas associados a esses resíduos. Ademais, noções de design de produto e ecodesign, berço ao berço e economia circular de modo geral, precisam ser

fomentadas e implementadas na indústria de fabricação eletrônica, auxiliando o processo de reciclagem posterior (Rasheed et al., 2022). Um exemplo de como a reciclagem de eletroeletrônicos pode ser otimizada por meio do conceito de design de produto, ocorre pela maior facilidade para desmontar esses aparelhos, fazendo com que as peças possam ser separadas e reparadas ou até substituídas, sem que haja o descarte do produto por completo (Ottoni, 2020).

No entanto, ressalta-se que o Brasil é o país emergente que mais descarta geladeiras a cada ano por pessoa e um dos que mais descarta celulares, televisores e impressoras (Silva et al., 2014). Dessa forma, sendo o maior produtor de lixo eletroeletrônico da América Latina, o país promulgou, em 2022, uma nova lei acerca da logística reversa desses resíduos como solução potencial para as barreiras como a falta de conscientização, dados e conhecimento técnico diante da gestão do lixo eletroeletrônico e, também, a presença do mercado ilegal de reciclagem dos eletroeletrônicos, mas para sanar essas questões a responsabilidade deve ser compartilhada entre as partes interessadas (dos Santos et al., 2022). Apesar da iniciativa sancionada, nos países em desenvolvimento, ainda predomina a falta de conscientização sobre a poluição ambiental diante da gestão e reciclagem inadequadas dos eletroeletrônicos (Borthakur, 2015).

Segundo, também, o Portal Ellen Macarthur Foundation, a logística reversa pode ser definida por “cadeias de abastecimento dedicadas ao fluxo reverso de produtos e materiais para fins de manutenção, reparo, reúso, recondicionamento, refabricação, reciclagem ou regeneração de sistemas naturais”. No Brasil, a logística reversa passou a ser mais difundida em virtude da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010, que tem como objetivo regulamentar a gestão dos resíduos e englobando, desenvolvimento econômico, social e manutenção da qualidade ambiental (Brasil, 2010). Portanto, de acordo com o Portal do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), o ciclo da logística reversa para eletroeletrônicos no Brasil pode ser explicado pela Figura 1, o qual inicia-se pelo descarte dos aparelhos pelo consumidor nos pontos de coleta, estes são armazenados de forma adequada e, posteriormente, transportados para os pontos de consolidação ou destinação final, onde ocorre o tratamento desses resíduos e disposição final dos rejeitos. Perante esse processo, os relatórios da Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (Abree) e Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional (Green Eletron), entidades gestoras do SINIR, divulgam que no ano de 2021, 1960 toneladas de eletroeletrônicos foram coletadas e 4229 pontos de recolhimento foram instalados (Portal SINIR).

Figura 1 - Ciclo da Logística Reversa de Eletroeletrônicos no Brasil



Fonte: Portal SINIR

3. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo mapear e classificar os principais fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos em estudos de caso reportados nos artigos científicos selecionados.

3.1. Objetivos Específicos

- Identificar os fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos;
- Organizar os fatores encontrados em categorias de abordagem dos problemas encontrados;
- Classificar os fatores e as categorias criadas nos níveis individual, organizacional, ecossistêmico e político;
- Entender os principais atores relacionados com cada um dos fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos.

4. METODOLOGIA

Este trabalho utilizou a abordagem de revisão sistemática da literatura (Briner e Denyer, 2012; Tranfield et al., 2003) para mapear e classificar os principais fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos por meio da leitura de estudos de caso reportados em artigos científicos. Seguindo o modelo de (Briner e Denyer, 2012), a pesquisa foi elaborada com base nas cinco etapas propostas: (1) planejamento da revisão; (2) localização de estudos; (3) avaliar as contribuições; (4) analisar e sintetizar informações; e (5) reportar “melhores evidências”.

Planejando a revisão: Estabeleceu-se como questão norteadora da revisão da literatura: (1) Quais fatores influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos?

Localizando os estudos: Para a escolha das palavras-chave por meio da base de dados Scopus, foram realizados dois testes e a formulação final da *string* de busca escolhida foi a com as palavras-chave “reciclagem de eletroeletrônicos”, “economia circular” e “estudo de caso” restringindo a documentos do tipo artigo e ao período de 2018 a 2022, visando uma amostra robusta e recente que refletisse a atualidade, sabendo que o tema é atualizado com frequência, o que resultou em 252 artigos em maio de 2022. O protocolo completo de busca é apresentado na Tabela 1 e Figura 2.

Base de dados: *Scopus*

String de busca: (TITLE-ABS-KEY (recycling AND e-waste)) AND ((case AND study)) AND (circular AND economy) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))

Avaliando contribuições: Como mencionado a lista de 98 artigos foi selecionada para leitura completa, a amostra final incluiu 36 artigos que seguiam os critérios estabelecidos.

Assim, após a execução das buscas, os documentos obtidos foram analisados seguindo dois filtros diferentes, compostos pelos seguintes critérios de inclusão:

- a) Filtro 1: leitura do título, resumo e palavras-chave.

1º Critério: os trabalhos devem abordar a reciclagem de eletroeletrônicos como foco de análise do estudo de caso;

2º Critério: os trabalhos devem estar no idioma inglês.

b) Filtro 2: leitura completa do artigo.

1º Critério: os trabalhos abordados devem ser estudos de caso;

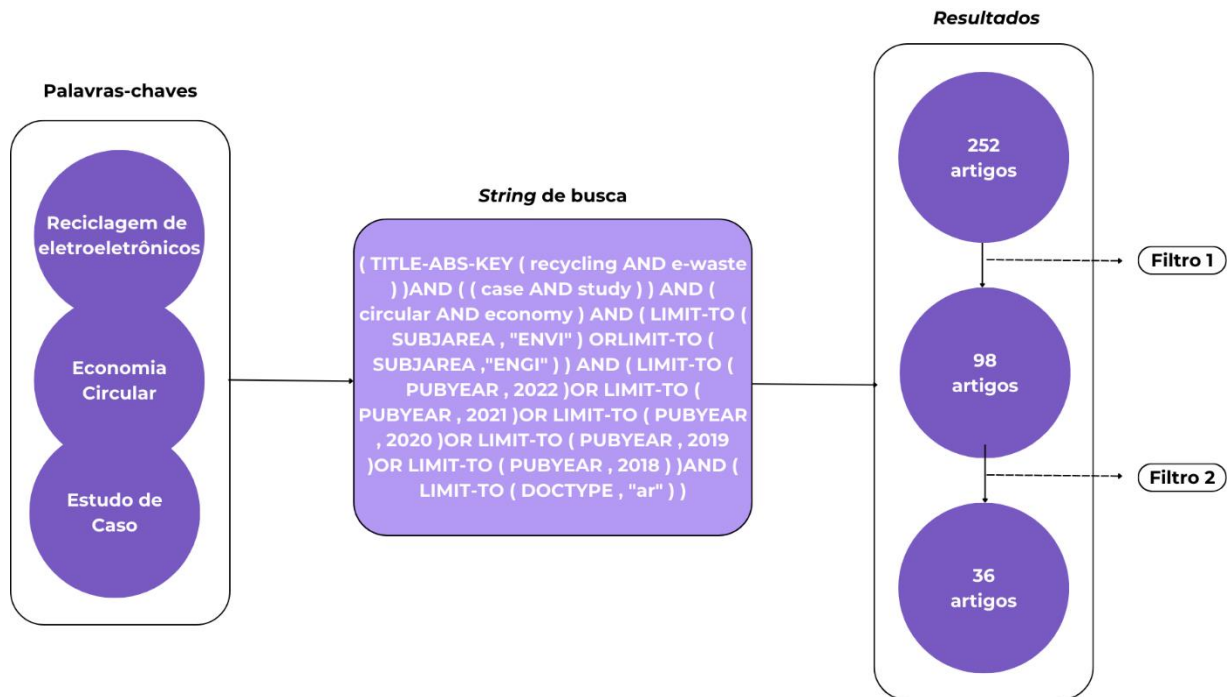
2º Critério: os artigos analisados não devem ter como enfoque painéis solares, lâmpadas, pilhas e baterias.

Tabela 1 - Protocolo de busca

Protocolo de busca	Descrição
Base de dados	Scopus
Filtro de busca	Título, Resumo, Palavras-chaves
String de busca	(TITLE-ABS-KEY (recycling AND e-waste)) AND ((case AND study)) AND (circular AND economy) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))
Linguagem	Inglês
Período da busca	Anos de 2018 a 2022
Data da busca	Maior de 2022
Tipo de documento	Artigo científico
Critérios de Inclusão	Filtro 1 (leitura do título, resumo e palavras-chaves): 1º Critério: os trabalhos devem abordar a reciclagem de eletroeletrônicos como foco de análise do estudo de caso; 2º Critério: os trabalhos devem estar no idioma inglês. Filtro 2 (leitura completa): 1º Critério: os trabalhos abordados devem ser estudos de caso; 2º Critério: os artigos analisados não devem ter como enfoque painéis solares, lâmpadas, pilhas e baterias.

Fonte: Autoria própria

Figura 2 - Resultados da busca na plataforma Scopus



Fonte: Autoria própria

Analisar e sintetizar informações: As análises qualitativas foram elaboradas com auxílio do software Maxqda, pela criação de sistema de código robusto, com intuito de avaliar dos artigos selecionados e responder à pergunta norteadora desse trabalho, isto significa, identificar os fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos a busca por fatores que influenciam no processo, por meio da aplicação da metodologia do ciclo de código proposta por Miles et al. (2014) e apresentada na Tabela 2. As codificações, como mencionado, auxiliaram na organização os fatores encontrados, os quais foram, posteriormente, categorizados em quatro níveis que serão mais bem detalhados nos resultados deste trabalho. A metodologia de codificação foi dividida em três ciclos, no primeiro ciclo de codificação, foram identificados o objetivo e metodologia dos artigos selecionados e nos resultados apresentados, foram codificados o que os autores relataram como fatores que estavam influenciando no sucesso da reciclagem, tanto positiva quanto negativamente. No segundo ciclo, as codificações dos fatores foram agrupadas por similaridade, criando categorias para os fatores encontrados. No terceiro ciclo, estas categorias foram divididas entre quatro diferentes níveis de circularidade (individual, organizacional, ecossistêmico e político).

Tabela 2 – Aplicação da metodologia de ciclos de códigos

Ciclo de codificação	Estrutura do código (1º nível)	Estrutura do código (2º nível)
		Objetivo
1º Ciclo	Entendimento dos artigos	Metodologia Fatores que influenciam a reciclagem
2º Ciclo	Categorização dos fatores encontrados	Agrupamento por similaridade Criação de categorias
3º Ciclo	Organização das categorias em níveis de circularidade	Individual Organizacional Ecológico Político

Fonte: Autoria própria

Reportar “melhores evidências”: Após a codificação e o agrupamento de fatores, estes foram analisados e transcritos no texto de forma a elucidar como influenciam a reciclagem de eletroeletrônicos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante da leitura dos artigos selecionados conforme metodologia, os fatores encontrados foram categorizados e foram agrupados em quatro níveis, sendo eles: individuais, organizacionais, ecossistêmicos e políticos, os quais serão descritos ao longo deste tópico. A escolha desses níveis e categorias emergiram dos fatores encontrados com objetivo agrupá-los por similaridade e conectá-los com os possíveis âmbitos de atuação e principais responsáveis, detalhando o processo de reciclagem de eletroeletrônicos de forma holística.

5.1. Nível Individual

Os fatores de nível individual são apresentados na Tabela 3, os quais relacionam-se ao usuário dos produtos nos seguintes aspectos: acesso à informação, comportamento de descarte, financeiros e *update* tecnológico.

Tabela 3 - Fatores de nível individual

Nível	Categoria	Fatores
Individual	Acesso à informação	Falta de conhecimento
		Impactos negativos
		Treinamento especializado
	Comportamento de descarte	Descarte inadequado
		Diferentes rotas de destinação
		Disposição a pagar pela coleta
		Vontade de reciclar
	Financeiros	Custo de manutenção
		Custo de oportunidade
		Reuso ou Venda do usado
	Update tecnológico	Defeito
		Hibernação
Segurança de dados		
		Novas funcionalidades

Fonte: Autoria própria

O primeiro aspecto tem como objetivo entender o nível de conhecimento acerca do descarte adequado de eletroeletrônicos, no caso uma empresa a compreensão refere-se a aplicação de treinamento ao funcionário sobre o tema, incluindo os impactos negativos decorrentes da ausência desse processo. Segundo Ananno et al. (2021), 44,65% dos entrevistados durante o estudo de caso não conhecem os efeitos que o lixo eletroeletrônico pode causar ao meio ambiente. Já o aspecto de comportamento de descarte está relacionado à vontade desse usuário de reciclar adequadamente os eletroeletrônicos, às rotas alternativas à reciclagem,

ou seja, a doação desses aparelhos para um amigo ou familiar, e ao descarte correto ou não do produto em questão. Segundo Almulhim (2022), 45% dos entrevistados guardam os eletroeletrônicos não mais utilizados em casa, comportamento denominado por hibernação, enquanto 32% estão propensos a descartá-los junto a outros resíduos domésticos. Apesar desse comportamento inadequado, de acordo com a pesquisa realizada por Ichikowitz & Hattingh, (2020), os entrevistados estão dispostos a participar da reciclagem de eletroeletrônicos quando o processo é facilitado por meio do incentivo às coletas.

O terceiro aspecto é o financeiro e consiste no balanço entre custo e benefício, ou seja, o custo de manutenção do produto antigo, a venda desse ou a compra de um novo aparelho. Vale mencionar que, segundo Cai et al. (2020), apenas 25,2% dos consumidores vendem seus eletroeletrônicos usados para mercados de segunda mão. Logo, um incentivo para aumento da taxa de coleta de aparelhos usados é a entrega deles na compra do novo em troca de algum benefício financeiro, por exemplo o desconto (Ichikowitz & Hattingh, 2020). Por fim, o aspecto de update tecnológico está relacionado à hibernação do aparelho não utilizado devido a fatores como segurança de dados, mas também a defeitos ou até a própria troca do aparelho por um novo perante as novas funcionalidades. Nota-se que a falta de conhecimento dos usuários acerca de pontos de coleta de eletroeletrônicos próximos culmina no descarte incorreto ou na hibernação dos aparelhos obsoletos e/ou quebrados, sendo as inovações presentes em eletroeletrônicos mais recentes um dos motivos para a troca dos aparelhos (Almulhim, 2022).

5.2. Nível Organizacional

Os fatores de nível organizacional são apresentados na Tabela 4, os quais relacionam-se às indústrias nos aspectos comerciais e produtivos.

Tabela 4 - Fatores de nível organizacional

Nível	Categoria	Fatores
Organizacionais	Comerciais	Inovação incremental
		Material
		Obsolescência programada
	Produtivos	Tamanho ou design do produto
		Marketing
		Contaminantes
		Escolha do processo
		Processo de desmontagem
		Automatização do processo

Fonte: Autoria própria

O aspecto comercial refere-se à pré-venda dos produtos, ou seja, fatores como o marketing, tamanho, design, material do produto, além da inovação incremental e obsolescência programada de forma a fomentar o consumo por parte dos usuários. Entende-se que a reciclagem é influenciada pela escolha do material, tamanho e design do produto, pois materiais com baixo valor agregado dificultam o interesse privado pelo processo de recuperação (Gunarathne et al., 2020). Em relação à obsolescência programada, de acordo com a pesquisa realizada por (Attia et al., 2021), a maioria (29,0%) dos participantes mantêm o celular em uso por 3 anos, enquanto 10,5% o utilizam por mais de 6 anos. Ademais, segundo (Ananno et al., 2021), os eletroeletrônicos de segundo mão tendem a apresentar uma vida útil curta devido à inovação incremental e obsolescência programada. Por fim, o recurso de marketing pode ser utilizado como ferramenta para educar os consumidores acerca da venda de produtos mais sustentáveis, ou seja, com menor gasto de energia e materiais, o que também tende a reduzir o preço a ser pago por eles (Kuah & Wang, 2020).

Já o aspecto produtivo está relacionado ao processo de montagem e desmontagem desses produtos e os contaminantes presentes nos aparelhos. Sabe-se que parte das limitações da reciclagem dos plásticos advindos de eletroeletrônicos se deve aos contaminantes como chumbo, cádmio, e mercúrio presentes (Allassali et al., 2020). Apesar disso, existem iniciativas para evitar materiais nocivos e tóxicos os quais apresentam esse empecilho à reciclagem (Ananno et al., 2021). Ademais, a escolha do processo e desmontagem são fatores que também influenciam na reciclagem dos produtos. A reciclagem por apresentar a maneira formal e informal manifesta diferenças na coleta, licenciamento e método de tratamento, no caso do processo informal, utilizam-se métodos com menor refinamento, o que pode ser prejudicial ao meio ambiente (Ananno et al., 2021). Todavia, segundo (Cordova-Pizarro et al., 2019), nota-se que a desmontagem manual é de alta pureza e limpeza, e permite recuperar até mesmo pequenos componentes dos resíduos eletroeletrônicos, com eficiência de 98 a 99% em estudo realizado, esse processo de reciclagem mais simples e sem métodos de processamento final é muito utilizado pelas economias emergentes e apesar da alta pureza e limpeza, pode culminar em riscos à saúde dos trabalhadores. Por fim, de acordo com Wagner et al. (2019a), destaca-se que a automatização também é um fator que influencia a reciclagem de eletroeletrônicos, pois é capaz de reduzir significativamente os custos desse processo durante a desmontagem.

5.3. Nível Ecosistêmico

Os fatores de nível ecosistêmico são apresentados na Tabela 5, os quais relacionam-se ao sistema que suporta a reciclagem dos eletroeletrônicos nos seguintes aspectos: estrutura do ecossistema circular, infraestrutura de coleta e competitividade de mercado.

Tabela 5 - Fatores de nível ecosistêmico

Nível	Categoria	Fatores
Ecosistêmicos	Estrutura do ecossistema circular	Cooperação entre os atores
		Competição entre atores
		Organização dos atores
	Infraestrutura de coleta	Pontos de coleta
		Compartilhamento de dados
	Competitividade de mercado	Eficiência do sistema de coleta
Recebimento de benefícios financeiros		
Custo de operação		
		Desenvolvimento do mercado de usados

Fonte: Autoria própria

A estrutura do ecossistema circular refere-se à relação entre os atores interdependentes e heterogêneos que desenvolvem esforços conjuntos a fim de promover a sustentabilidade por meio da proposição de valor circular (Trevisan et al., 2022), logo alguns exemplos de atores presentes no fluxo de reciclagem de eletroeletrônicos são: empresas, ONGs, instituições de ensino, consumidores, catadores, governo, entre outros. A cooperação entre os atores pode ser explicada como a colaboração entre dois ou mais agentes para a facilitação do processo, segundo Cai et al. (2020), é notável a possibilidade daqueles que possuem poder político para contribuir junto às instituições de ensino e tornar obrigatório os cursos que promovam o pensamento circular, a fim de perpetuar os conhecimentos e hábitos de reciclagem de lixo eletroeletrônico. Entretanto, de acordo com Gunarathne et al. (2020), os retornos financeiros inadequados e a falta de estímulos fiscais desincentivam os recicladores existentes e potenciais investidores a entrar nessa indústria, evidenciando a necessidade de cooperação entre o governo e setor privado. Um exemplo de iniciativa brasileira seguindo esse viés, consistiu no desenvolvimento de tecnologias de rastreamento e separação de materiais por um centro de pesquisa para serem testadas em uma cooperativa recém-formada com apoio financeiro da prefeitura e científico da universidade (Pedro et al., 2021).

Já a competição entre os atores, é acirrada na indústria de reciclagem de eletroeletrônicos (Yang et al., 2021) e caracterizada pela permanência de empresas com custos

de reciclagem e processamento reduzidos em posições dominantes no mercado. Além disso, evidencia-se que as empresas de reciclagem informais competem de forma desigual quando comparadas às formais, isso porque os consumidores tendem a preferir a solução mais econômica e eficiente, independente da formalidade do serviço (Cordova-Pizarro et al., 2019). Por fim, quanto a organização dos atores, a governança construída é importante para funcionalidade de rede e obtenção de resultados, a qual surge quando os atores do ecossistema circular estão dispostos a colaborar pela discussão e resolução de demandas (Pedro et al., 2021).

A infraestrutura da coleta, refere-se ao conhecimento e divulgação dos pontos de coleta de eletroeletrônicos, a insegurança dos usuários quanto ao compartilhamento de dados pessoais e a eficiência do sistema de coleta. Entende-se que a falta de informações claras acerca da localização dos pontos de coleta, como locais de descarte próximos ao trabalho ou rota diária dos consumidores, colabora para a hibernação dos itens obsoletos e descarte inadequado desses aparelhos (D'almeida et al., 2021). Em relação ao compartilhamento de dados, apesar de parte dos usuários ter receio de descartar os aparelhos nos pontos de coleta, segundo a pesquisa de Islam et al. (2020), a técnica *downstream* é utilizada nos aparelhos após o descarte nos pontos de coleta, atestando a segurança dos dados como principal prioridade do programa. Contudo, o sistema de coleta ainda é visto como ineficiente, sendo essa uma das causas da falta de participação dos usuários na gestão do resíduo eletroeletrônico (Ananno et al., 2021), essa ineficiência é demonstrada no estudo realizado por Gunarathne et al. (2020), pela ausência de espaços para coleta nas zonas rurais, fato também destacado na pesquisa de Ichikowitz & Hattingh (2020), a qual discorre sobre a localização dos pontos de coleta e infraestrutura dos sistema, salientando a insuficiência de espaço para armazenamento nas instalações, a baixa frequência de recolhidas dos materiais e a distância dos centros populacionais.

Por fim, a competitividade de mercado relaciona-se ao recebimento de benefícios financeiros, custos de operação e desenvolvimento do mercado de usados. Segundo Gunarathne et al. (2020), a reciclagem de materiais eletroeletrônicos por meio de processos tecnológicos é um desafio, devido a fatores como alto investimento envolvido e tecnologia limitada. Desse modo, defende-se a necessidade de um projeto para estruturação da logística e comercialização da coleta e reciclagem de eletroeletrônicos, diante da subexploração desse potencial econômico (D'almeida et al., 2021). Já acerca do desenvolvimento do mercado de usados, segundo Attia et al. (2021), estudos mostram que 42% dos eletroeletrônicos obsoletos podem ser reaproveitados no comércio de usados e o lixo eletroeletrônico é uma oportunidade econômica para venda de metais no mercado de segunda mão, por exemplo (Wibowo et al., 2021).

5.4. Nível Político

Os fatores de nível político são apresentados na Tabela 6, os quais descrevem as ações do governo a fim de incentivar a reciclagem de eletroeletrônicos sendo divididos em: ações para o consumidor e ações para as organizações.

Tabela 6 - Fatores de nível político

Nível	Categoria	Fatores
Políticos	Ações para o consumidor	Ações educativas
		Confiabilidade de informações
	Ações para as organizações	Monitoramento do sistema de reciclagem
		Incentivos financeiros
		Regulação do setor

Fonte: Autoria própria

O nível político quando relacionado a categoria de ações para o consumidor, referem-se à ações educativas e confiabilidade de informações, em que o governo deve divulgar informações e promover discussões com intuito de conscientizar a população sobre a disposição adequada de eletroeletrônicos (Almulhim, 2022). Além da conscientização e de fornecer fontes seguras para a população sanar dúvidas, um sistema de recompensa pode fomentar o engajamento dos consumidores. Isto posto, futuramente, sugere-se a criação de um sistema de bonificação ou impostos, conectado com o fator financeiro de nível individual já descrito, enfatizando cada vez mais a divulgação de informações importantes quanto à reciclagem de eletroeletrônicos, para que a população compreenda a poluição causada pelo descarte incorreto desses resíduos, favorecendo a entrega dos aparelhos às empresas formais (Cai et al., 2020).

Já as ações para as organizações, referem-se ao monitoramento do sistema de reciclagem, aos incentivos financeiros esperados e a regulação do setor. Em relação ao monitoramento do sistema, há a possibilidade de acordo parceria público-privada (PPP) com o objetivo de garantir os direitos de monitorização do sistema de reciclagem pelo governo (Ananno et al., 2021). Acerca dos incentivos financeiros de nível político, nota-se que a falta de apoio governamental e de benefícios de custo dificulta a permanência dos atores na indústria de reciclagem (Gunarathne et al., 2020). Dessa forma, foi sugerido a adoção de um fundo especial para compensar parte dos custos de reciclagem e, dessa forma, incentivar a iniciativa privada a contribuir com a recuperação desses resíduos (Ananno et al., 2021). Finalmente, para demonstrar o processo de regulação do setor, menciona-se o “Regulamento de Gestão de Resíduos Eletrônicos”, elaborado no ano de 2019 em Bangladesh, porque nele são definidas as

responsabilidades dos fabricantes, consumidores, recicladores e entre outros atores diante dos produtos e resíduos de cunho eletroeletrônico (Ananno et al., 2021).

5.5. Âmbitos de atuação e principais responsáveis no processo de reciclagem de eletroeletrônicos

O tópico em questão tem o intuito de destacar o potencial de mudança que os principais atores do processo de reciclagem de eletroeletrônicos possuem, sugerindo ações de melhoria para tal. Sabe-se que o governo pode ser visto com principal agente de mudança, pois por meio da criação de leis, incentivos financeiros e divulgação de informações o processo passar a ser estimulado também por outros atores como empresas, ONGs, instituições de ensino, consumidores, catadores, governo etc., os quais são instigados a aprimorá-lo devido aos estímulos citados.

Seguindo esse viés, Kuah & Wang (2020) sugere que o poder público apoie as empresas por meio de incentivos como reduções fiscais e subsídios aos fornecedores e consumidores, como na China, em que houve a implementação de preço máximo de 60% do valor do produto novo para os produtos remanufaturados, favorecendo a empresa perante a venda do aparelho, o consumidor pela redução do custo e sobretudo o pensamento circular. No entanto, quando não há incentivo do governo diante do processo de reciclagem de eletroeletrônicos ou garantia da gestão adequada desses resíduos, nota-se, baixas taxas de reciclagem dos eletroeletrônicos apesar do aumento da geração desses aparelhos como constatado, atualmente em que o Brasil recicla apenas 3% dos seus eletroeletrônicos (Pedro et al., 2021). Além do mais, cabe as instituições de ensino fomentarem esse processo pela orientação para questões socioambientais, perigos do descarte incorreto dos resíduos e como destiná-los adequadamente (Sánchez-Carracedo & López, 2021).

Já a iniciativa privada pode aperfeiçoar seus processos industriais, eliminando dos produtos os componentes tóxicos e incorporando produtos reciclados por meio do design circular, facilitando o fechamento da cadeia desses eletroeletrônicos (Almulhim, 2022). Por fim, com a implementação dessas ações, por meio da cooperação entre os atores da reciclagem de eletroeletrônicos, o processo tende a ser mais expressivo, mas só será possível com a colaboração da população que precisa estar disposta a descartar corretamente seus eletroeletrônicos, em relação a isso, nota-se que a maioria dos consumidores entrevistados na pesquisa de Shaikh et al. (2020) estão propensos a participar e até pagar certa quantia pela reciclagem dos seus eletroeletrônicos.

6. DISCUSSÃO

Diante da análise dos conceitos de economia circular, logística reversa e reciclagem de eletroeletrônicos nos artigos lidos é notável a divergência de opinião entre os diversos atores mencionados, pois alguns defendem a implementação desses conceitos como algo positivo, enquanto outros enfatizam as desvantagens, como as perdas de energia do processo, classificando a ideia de ciclo fechado como uma utopia. Apesar dessas discordâncias, é certo que parte das dificuldades de implementação da economia circular estão relacionadas aos custos para adequação de processos produtivos já estabelecidos, baixos incentivos financeiros perante as empresas recicladoras e consumidores, assim como a má gestão do sistema coleta e falta de fiscalização do processo, mas podem ser facilitada com auxílio da cooperação entre os atores, seja pela promulgação de legislações que garantam a responsabilidade compartilhada do gerador e consumidor, desenvolvimento de dispositivos de digitalização que facilitem a reciclagem ou aplicação do pensamento circular desde a criação do produto. Ainda, também, programas de conscientização da população, a fim de suprir a falta de conhecimento identificada, e incentivos por meio de benefícios financeiros são fatores que impulsionam a reciclagem de eletroeletrônicos.

Entretanto, esse processo ainda precisa ser melhor aplicado de modo a garantir a assertividade da economia circular, pois mesmo nos países desenvolvidos, os quais apresentam legislações mais consolidadas que regularizam a coleta e reciclagem dos aparelhos elétricos domésticos, promovendo a devolução ao fabricante em prol da desmontagem e destinação adequada (Bachi et al., 2013) a sistemática ainda apresenta vulnerabilidades, as quais podem ser evidenciadas pela presença de resíduos eletroeletrônicos advindos de países desenvolvidos em relatórios de nações como China, Camboja, Índia e Nigéria (Kiddee et al., 2013).

Já nos países subdesenvolvidos e emergentes, a situação é mais deficitária, pois grande parte deles não possuem legislações promulgadas quanto a logística reversa, bem como o sistema de coleta e gestão desses resíduos, além do monitoramento e fiscalização são inexistentes ou falhos. No Brasil, a partir de 2022, entrou em vigor a legislação que regulariza a logística reversa no país, além disso, iniciativas conjuntas favorecendo a reciclagem de eletroeletrônicos, também, são constatadas. No entanto, a realidade atual ainda carrega o histórico de descaso e desconhecimento dos consumidores e demais atores quanto às formas de destinação adequadas e os riscos ao meio ambiente e à saúde pública advindos do descarte incorreto dos eletroeletrônicos.

7. CONCLUSÃO

Assim, demonstra-se a importância de discutir o tema em questão, o qual não resulta em consenso apesar de ser discutido há mais de duas décadas, além da necessidade de entendimento das divergências e dificuldades do processo, a fim de minimizá-las para melhor implementação e aceitação da economia circular e seus desdobramentos. Evidencia-se, também, a necessidade de divulgar a economia circular, promovendo a reciclagem de eletroeletrônicos, assim, entende-se que este estudo condensa os fatores que influenciam na reciclagem de eletroeletrônicos tanto positivos quanto negativos por meio da análise de diversos artigos sobre tema e explica os principais âmbitos de atuação e seus responsáveis dentro do processo de reciclagem de eletroeletrônicos.

Além disso, foi possível reconhecer os principais atores capazes de promover a eficiência do processo de economia circular, de modo a reduzir as barreiras e aumentar os impulsionadores da reciclagem de eletroeletrônicos, podendo mencionar o governo como principal agente da mudança, pois pela promulgação de leis e incentivos fiscais, demais atores como iniciativa privada e instituições de ensino são estimuladas a contribuir com a economia circular de modo a fomentar a participação da população que precisa estar disposta a descartar corretamente seus eletroeletrônicos, colaborando com a logística reversa. No entanto, dificuldades quanto a identificação de dados mais concretos, como quantidade total de lixo eletroeletrônico gerada e percentual de reciclagem dessa, principalmente referindo-se ao Brasil, foram evidenciadas durante o estudo em questão, justamente pelas lacunas referentes à má gestão do sistema de resíduos e pontos de coleta, falta de fiscalização e monitoramento do sistema, carência de estímulos financeiros aos interessados e baixa assertividade da responsabilidade compartilhada do gerador e dos demais atores envolvidos na reciclagem de eletroeletrônicos.

Por fim, o presente trabalho de conclusão de curso, fez-se por suficiente para tal finalidade, pois, por meio dele, houve a revisão de conceitos aprendidos no decorrer da graduação e entendimento de suas aplicações diante de diferentes contextos e perspectivas de análise. Ademais, novos conhecimentos, de grande relevância para a formação do profissional de Engenharia Ambiental, foram adquiridos e aprofundados como efeito rebote e digitalização na economia circular, além do levantamento das principais dificuldades e das possíveis formas de amenizá-las no processo de reciclagem de eletroeletrônicos.

REFERÊNCIAS

- Alassali, A., Barouta, D., Tirion, H., Moldt, Y., & Kuchta, K. (2020). Towards a high quality recycling of plastics from waste electrical and electronic equipment through separation of contaminated fractions. *Journal of Hazardous Materials*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121741>
- Almulhim, A. I. (2022). Household's awareness and participation in sustainable electronic waste management practices in Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(4). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101729>
- Alves, C., Sá, T. De, & Garcia, R. (2013). *OBSOLÊNCIA PLANEJADA VISANDO CONSUMO PROGRAMADO*.
- Ananno, A. A., Masud, M. H., Dabnichki, P., Mahjabeen, M., & Chowdhury, S. A. (2021). Survey and analysis of consumers' behaviour for electronic waste management in Bangladesh. *Journal of Environmental Management*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111943>
- Aparecida De Almeida, M., Papandrea, P. J., Carnevali, M., Xavier De Andrade, A., De Paulo, F., Correa, V., Rita, M., & Andrade, M. (2015). *E-LOCUÇÃO | REVISTA CIENTÍFICA DA FAEX Edição 07-Ano 4-2015 DESTINAÇÃO DO LIXO ELETRÔNICO: IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS TECNOLÓGICOS*.
- Attia, Y., Soori, P. K., & Ghaith, F. (2021). Analysis of households' e-waste awareness, disposal behavior, and estimation of potential waste mobile phones towards an effective e-waste management system in dubai. *Toxics*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/toxics9100236>
- Bachi, M. H., Autor, _____ *, & Correspondência, P. (2013). *Editora do GVAA-Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas-Pombal-PB www.gvaa.org.br Revista RBGA: http://www.gvaa.org.br/revista/index.php/RBGA Autores Licenciada em Ciências Biológicas e pós-graduando em Gestão Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais-Campus de Poços de Caldas REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL GVAA-GRUPO VERDE DE AGROECOLOGIA E ABELHAS-POMBAL-PB Technological waste: The relationship with the Consumer Electronics Waste Legislation in Brazil. 1, 1–05. www.gvaa.org.br*
- Brasil. Lei Federal nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 03/08/2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 25 out. 2023.
- Borthakur, A. (2015). Generation and Management of Electronic Waste in India: An Assessment from Stakeholders' Perspective. *Journal of Developing Societies*, 31(2), 220–248. <https://doi.org/10.1177/0169796X14545574>

- Borthakur, A., Govind, M., & Singh, P. (2019). Inventorization of e-waste and its disposal practices with benchmarks for depollution: The global scenario. Em *Electronic Waste Management and Treatment Technology* (p. 35–52). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816190-6.00002-9>
- Cai, K., Song, Q., Peng, S., Yuan, W., Liang, Y., & Li, J. (2020). Uncovering residents' behaviors, attitudes, and WTP for recycling e-waste: a case study of Zhuhai city, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 2386–2399. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06917-x>
- Castro, C. G., Trevisan, A. H., Pigosso, D. C. A., & Mascarenhas, J. (2022). The rebound effect of circular economy: Definitions, mechanisms and a research agenda. Em *Journal of Cleaner Production* (Vol. 345). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131136>
- Cordova-Pizarro, D., Aguilar-Barajas, I., Romero, D., & Rodriguez, C. A. (2019). Circular economy in the electronic products sector: Material flow analysis and economic impact of cellphone e-waste in Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/su11051361>
- Corvellec, H., Stowell, A. F., & Johansson, N. (2022). Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 26(2), 421–432. <https://doi.org/10.1111/jiec.13187>
- D'almeida, F. S., de Carvalho, R. B., Dos Santos, F. S., & de Souza, R. F. M. (2021). On the hibernating electronic waste in Rio de Janeiro higher education community: An assessment of population behavior analysis and economic potential. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169181>
- dos Santos, D. M., Buzzi, D. C., Botelho Junior, A. B., & Espinosa, D. C. R. (2022). Recycling of printed circuit boards: ultrasound-assisted comminution and leaching for metals recovery. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(5), 1991–2001. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01453-2>
- Ellen Macarthur Foundation. Introdução a Economia Circular Explicada – Glossário. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/glossario>>. Acesso em: 25 out. de 2023.
- Ellen Macarthur Foundation. Introdução a Economia Circular Explicada – O diagrama da borboleta: visualizando a economia circular. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-diagrama-de-borboleta>>. Acesso em: 15 out. de 2023.
- Gunarathne, N., de Alwis, A., & Alahakoon, Y. (2020). Challenges facing sustainable urban mining in the e-waste recycling industry in Sri Lanka. *Journal of Cleaner Production*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119641>

- Gutierrez, C., Gutierrez D., Santos, L., Pontes, A., Ribeiro, H., & Morales, G. (2017). *O descaso com o lixo eletroeletrônico de uma metrópole amazônica: o caso da cidade de Belém, Pará*. *Electronic waste disregard on amazon metropolis: the case of Belém city, Pará*.
- Ichikowitz, R., & Hattingh, T. S. (2020). Consumer e-waste recycling in South Africa. *South African Journal of Industrial Engineering*, 31(3), 44–57. <https://doi.org/10.7166/31-3-2416>
- Islam, M. T., Dias, P., & Huda, N. (2020). Waste mobile phones: A survey and analysis of the awareness, consumption and disposal behavior of consumers in Australia. *Journal of Environmental Management*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111111>
- Kastanaki, E., & Giannis, A. (2021). Dynamic estimation of future obsolete laptop flows and embedded critical raw materials: The case study of Greece. *Waste Management*, 132, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.017>
- Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, 33(5), 1237–1250. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.006>
- Kitila, A. W. (2018). *WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (E-WASTE) MANAGEMENT AND DISPOSAL METHODS IN THE CITY OF ADDIS ABABA, ETHIOPIA*. COLLEGE OF AGRICULTURE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES at the.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Kuah, A. T. H., & Wang, P. (2020). Circular economy and consumer acceptance: An exploratory study in East and Southeast Asia. *Journal of Cleaner Production*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119097>
- Laurenti, R., Singh, J., Sinha, R., Potting, J., & Frostell, B. (2016). Unintended Environmental Consequences of Improvement Actions: A Qualitative Analysis of Systems' Structure and Behavior. *Systems Research and Behavioral Science*, 33(3), 381–399. <https://doi.org/10.1002/sres.2330>
- Lopes dos Santos, K. (2020). The recycling of e-waste in the Industrialised Global South: the case of Sao Paulo Macrometropolis. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/19463138.2020.1790373>
- Martin, M., Heiska, M., & Björklund, A. (2021). Environmental assessment of a product-service system for renting electric-powered tools. *Journal of Cleaner Production*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125245>
- Miles, M.B., Huberman, A.M., Saldãna, J., 2014. In: University, A.S. (Ed.), *Qualitative Data Analysis. A Methods Sourcebook*, 3 edition. SAGE.

- Otoni, M., Dias, P., & Xavier, L. H. (2020). A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>
- Pedro, F., Giglio, E., Contreras, L. V., & Munguia, N. (2021). Constructed governance as solution to conflicts in e-waste recycling networks. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13041701>
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *CIRCULAR ECONOMY: MEASURING INNOVATION IN THE PRODUCT CHAIN Policy Report*.
- Rasheed, R., Rizwan, A., Javed, H., Sharif, F., Yasar, A., Tabinda, A. B., Mahfooz, Y., Ahmed, S. R., & Su, Y. (2022). Analysis of environmental sustainability of e-waste in developing countries — a case study from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(24), 36721–36739. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18691-4>
- Rousseau, D. M. (2012). The Oxford Handbook of Evidence-Based Management. Em *The Oxford Handbook of Evidence-Based Management*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199763986.001.0001>
- Sánchez-Carracedo, F., & López, D. (2021). A service-learning based computers reuse program. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13147785>
- Sehnem, S., & Pereira, S. C. F. (2019). Rumo à Economia Circular: Sinergia Existente entre as Definições Conceituais Correlatas e Apropriação para a Literatura Brasileira. *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa*, 18(1), 35–62. <https://doi.org/10.21529/recadm.2019002>
- Shaikh, S., Thomas, K., & Zuhair, S. (2020). An exploratory study of e-waste creation and disposal: Upstream considerations. *Resources, Conservation and Recycling*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104662>
- Silva, A., Gumersindo, D., Mecenas, | Jamille, Ramos, V., Jardel, P., & Araujo, P. (2014). *REUTILIZAÇÃO DO LIXO ELETRÔNICO DA UNIVERSIDADE TIRADENTES Engenharia de petróleo*.
- Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR. Logística reversa. 2018a. Disponível em: < <https://www.sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/eletroeletronicos/> > Acesso em: 16 out. de 2023.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. Em *British Journal of Management* (Vol. 14, Número 3, p. 207–222). <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Trevisan, A. H., Castro, C. G., Gomes, L. A. V., & Mascarenhas, J. (2022). Unlocking the circular ecosystem concept: Evolution, current research, and future directions. Em *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 29, p. 286–298). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.020>

- Wagner, F., Peeters, J. R., De Keyzer, J., Janssens, K., Duflou, J. R., & Dewulf, W. (2019). Towards a more circular economy for WEEE plastics – Part A: Development of innovative recycling strategies. *Waste Management, 100*, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.026>
- Wibowo, N., Piton, J. K., Nurcahyo, R., Gabriel, D. S., Farizal, F., & Madsuha, A. F. (2021). Strategies for improving the e-waste management supply chain sustainability in Indonesia (Jakarta). *Sustainability (Switzerland), 13*(24). <https://doi.org/10.3390/su132413955>
- Yang, X. S., Zheng, X. X., Zhang, T. Y., Du, Y., & Long, F. (2021). Waste electrical and electronic fund policy: Current status and evaluation of implementation in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph182412945>
- Zink, T., & Geyer, R. (2017). Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology, 21*(3), 593–602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12545>

Apêndice A – Artigos resultantes do protocolo estabelecido na Tabela 1

Autores	Ano	<i>Digital Object Identifier (DOI)</i>
Alassali A., Barouta D., Tirion H., Moldt Y., Kuchta K.	2020	10.1016/j.jhazmat.2019.121741
Almulhim A.I.	2022	10.1016/j.asej.2022.101729
Ananno A.A., Masud M.H., Dabnichki P., Mahjabeen M., Chowdhury S.A.	2021	10.1016/j.jenvman.2021.111943
André H., Ljunggren Söderman M., Nordelöf A.	2019	10.1016/j.wasman.2019.03.050
Attia Y., Soori P.K., Ghaith F.	2021	10.3390/toxics9100236
Blake V., Farrelly T., Hannon J.	2019	10.3390/su11113063
Cai K., Song Q., Peng S., Yuan W., Liang Y., Li J.	2020	10.1007/s11356-019-06917-x
Chaudhary K., Vrat P.	2020	10.1007/s10668-018-0189-9
Cordova-Pizarro D., Aguilar-Barajas I., Romero D., Rodriguez C.A.	2019	10.3390/su11051361
D'almeida F.S., de Carvalho R.B., Dos Santos F.S., de Souza R.F.M.	2021	10.3390/su13169181
Favot M., Grasseti L., Massarutto A., Veit R.	2022	10.1016/j.wasman.2022.04.027
Gunarathne N., de Alwis A., Alahakoon Y.	2020	10.1016/j.jclepro.2019.119641
Hischier R., Böni H.W.	2021	10.1016/j.resconrec.2020.105307
Ichikowitz R., Hattingh T.S.	2020	10.7166/31-3-2416
Ilyas S., Srivastava R.R., Kim H., Das S., Singh V.K.	2021	10.1016/j.wasman.2020.12.013
Islam M.T., Dias P., Huda N.	2021	10.1016/j.jclepro.2020.124490
Islam M.T., Dias P., Huda N.	2020	10.1016/j.jenvman.2020.111111
Ismail H., Hanafiah M.M.	2021	10.1016/j.jclepro.2021.127358
Kang K.D., Kang H., Ilankoon I.M.S.K., Chong C.Y.	2020	10.1016/j.jclepro.2019.119801
Kuah A.T.H., Assoc Professor, Wang P., Assoc Professor	2020	10.1016/j.jclepro.2019.119097
Lahtela V., Hamod H., Kärki T.	2022	10.1016/j.scitotenv.2022.155627
Lopes dos Santos K.	2020	10.1080/19463138.2020.1790373
Mairizal A.Q., Sembada A.Y., Tse K.M., Rhamdhani M.A.	2021	10.1016/j.jclepro.2021.126096
Maisel F., Chancerel P., Dimitrova G., Emmerich J., Nissen N.F., Schneider-Ramelow M.	2020	10.1016/j.resconrec.2019.104619
Mangmeechai A.	2022	10.1186/s42834-022-00126-x
Panchal R., Singh A., Diwan H.	2021	10.1016/j.resourpol.2021.102264
Pedro F., Giglio E., Contreras L.V., Munguia N.	2021	10.3390/su13041701
Rasheed R., Rizwan A., Javed H., Sharif F., Yasar A., Tabinda A.B., Mahfooz Y., Ahmed S.R., Su Y.	2022	10.1007/s11356-022-18691-4
Santos S.M., Ogunseitán O.A.	2022	10.1016/j.eti.2022.102671
Shaikh S., Thomas K., Zuhair S.	2020	10.1016/j.resconrec.2019.104662
Singh A., Panchal R., Naik M.	2020	10.1007/s11356-020-08320-3
Wagner F., Peeters J.R., De Keyzer J., Janssens K., Duflou J.R., Dewulf W.	2019	10.1016/j.wasman.2019.09.026
Wagner F., Peeters J.R., De Keyzer J., Janssens K., Duflou J.R., Dewulf W.	2019	10.1016/j.wasman.2019.07.035
Wang B., Ren C., Dong X., Zhang B., Wang Z.	2019	10.1016/j.resconrec.2019.01.005
Wibowo N., Piton J.K., Nurcahyo R., Gabriel D.S., Farizal F., Madsuha A.F.	2021	10.3390/su132413955
Yang X.-S., Zheng X.-X., Zhang T.-Y., Du Y., Long F.	2021	10.3390/ijerph182412945