

MODELO CONCEITUAL DA LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS PARA PROMOVER ECONOMIA CIRCULAR

Flavio Luiz Rodrigues (FEI)

Auro de Jesus Cardoso Correia (UNINOVE)

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (FEI)

Marlene Amorim (Universidade de Aveiro)



A crescente produção e obsolescência de equipamentos eletrônicos geram um aumento significativo nos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), que crescem em média 3 a 5% ao ano. Apesar de possuírem valor, o descarte inadequado dos REEE pode causar impactos ambientais negativos. Por outro lado, a gestão adequada desses resíduos é um desafio global e, no Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos visa a gestão do sistema de logística reversa desses resíduos, definindo a responsabilidade compartilhada pelos players da cadeia reversa. A logística reversa é um meio para promover o desenvolvimento econômico e social, envolvendo a implementação de ações para permitir a coleta e devolução de resíduos sólidos para serem reutilizados em processos produtivos ou dispostos de forma ambientalmente correta. O objetivo do presente estudo é desenvolver uma estrutura conceitual para a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) implementando práticas da economia circular por meio de revisão de literatura. Como resultados, a implementação de um sistema de gestão coletiva para a logística reversa de REEE, que promova a circularidade dos materiais, pode trazer inúmeros benefícios, como a redução de impactos ambientais negativos, a criação de novas oportunidades de negócios e a geração de empregos. No entanto, a gestão efetiva do lixo eletrônico ainda enfrenta desafios, como o descarte adequado de materiais inutilizáveis em conformidade com a legislação vigente. As limitações deste estudo incluem a falta de uma análise aprofundada dos desafios específicos que a gestão de REEE enfrenta em diferentes contextos, como em regiões com diferentes níveis de infraestrutura e recursos financeiros. Além disso, o estudo se baseou em uma revisão sistemática da literatura, o que pode ter limitado a compreensão das práticas de economia circular aplicadas na logística reversa de REEE em diferentes setores e países.

Palavras-chave: Economia Circular, Logística Reversa, REEE, Cadeia Reversa.

1. Introdução

A crescente produção e obsolescência dos equipamentos eletrônicos têm gerado um aumento significativo nos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), que crescem em média 3 a 5% ao ano (SHITTU et al., 2021). Esses resíduos possuem um grande valor, tanto devido à escassez de seus materiais quanto pela possibilidade de serem reciclados e reutilizados. No entanto, seu descarte inadequado pode causar impactos ambientais negativos (FORTI et al., 2020). Sob uma perspectiva socioeconômica, o descarte inadequado dos REEE oferece uma oportunidade de aproveitamento e comercialização dos materiais preciosos que contêm, incluindo plástico, ferro, alumínio, aço, ouro, prata, bronze, cobre, platina e paládio (ABDI, 2013).

Nesse sentido, a gestão adequada dos REEE é um desafio global e, no Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visa a gestão do sistema de logística reversa desses resíduos, definindo a responsabilidade compartilhada pelos players da cadeia reversa por meio da Lei Federal nº 12.305 (CIVIL, 2010). Assim, a logística reversa é um meio para promover o desenvolvimento econômico e social, envolvendo a implementação de ações, procedimentos e recursos para permitir a coleta e devolução de resíduos sólidos para serem reutilizados em processos produtivos ou dispostos de forma ambientalmente correta.

Uma definição ampla de logística reversa é que ela envolve o planejamento, a implementação e o controle do fluxo de materiais, produtos acabados, rejeitados ou descartados, com o objetivo de retorná-los ao ciclo de negócios, minimizando os impactos ambientais e respeitando as legislações aplicáveis (TIBBEN-LEMBKE, 1998). Destaca-se na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a importância dos acordos setoriais, que são atos legais de natureza contratual firmados entre o poder público e as empresas envolvidas na cadeia reversa, como fabricantes, gestoras e recicladores, bem como distribuidores e importadores, com o objetivo de promover a adaptação ao sistema de gestão de resíduos sólidos (CNI, 2014).

Uma medida específica para aumentar os locais de coleta de REEE foi implementada em 2019, com a assinatura de um acordo setorial que tornou obrigatória a adoção da logística reversa, envolvendo fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de EEE na coleta de resíduos (MMA, 2019). O objetivo do acordo setorial é tornar a logística reversa viável no Brasil, mas sua efetividade não é garantida devido a vários desafios, como a falta de consistência na classificação e na criação de canais de coleta eficientes para os REEE (SANTOS, 2020). Mesmo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o acordo setorial em vigor, a gestão de resíduos de equipamentos eletrônicos ainda não está

operacionalizada no Brasil. Por isso, é fundamental a realização de estudos que possam propor soluções para a organização da cadeia reversa.

O objetivo do presente estudo é desenvolver uma estrutura conceitual para a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) implementando práticas da economia circular por meio de revisão de literatura. Essa estrutura servirá como base para a simulação futura, possibilitando a avaliação dos possíveis impactos e benefícios das práticas da economia circular na logística reversa de REEE. Para a realização de simulação é necessário, primeiramente, desenvolver a estrutura do modelo que será simulado.

2. Revisão de literatura

Na Índia, em uma pesquisa realizada por Shittu et al. (2021) sobre a gestão de REEE, foi constatado que a fabricante é o principal agente para promover a economia circular, incorporando os princípios da economia circular na concepção, produção e gestão dos REEE no final de sua vida útil para o reuso dos materiais na produção de novos produtos. Foram identificados cinco estudos de caso que abordaram a logística reversa de REEE para promover a economia circular. Na Ucrânia, Schevchenko et al. (2021) enfatizaram o papel da gestora de REEE na avaliação dos pontos ideais de coleta, na definição de estratégias de transporte, no design do produto e na participação do consumidor. Na Itália, foram encontrados três estudos de caso sobre a adoção de reciclagem de REEE em ciclo fechado pela gestora para o reuso de materiais no mercado secundário, contribuindo para as metas da UE em relação aos sistemas de coleta e reciclagem (MATARAZZO et al. 2019; ISERNIA et al. 2019) e gerando simbiose industrial (MARCONI et al. 2018). Além disso, um estudo de caso realizado no Reino Unido apresentou a recuperação de metais preciosos e a redução de impactos ambientais (BRIDGENS et al. 2019).

Treze estudos abordaram a logística reversa de REEE para promover a economia circular, com foco na operação da recicladora. Entre eles, três estudos de caso foram realizados no Brasil, onde se analisou o destino de REEE no Rio de Janeiro para reciclagem, reuso e remanufatura, sendo considerada uma fonte de recursos para geração de receita e empregos (BRITO et al. 2022). Além disso, foi avaliada a geração de REEE, a localização de empresas de reciclagem e as rotas de coleta. O estudo de Ottoni et al. (2020) destaca o papel dos recicladores na consolidação de novos modelos de negócios circulares. No contexto brasileiro, Alves e Farina (2018) analisaram as práticas de gerenciamento e remanufatura de REEE nas recicladoras e identificaram que a economia circular é uma fonte de geração de receita, devido

ao aumento da reciclagem e remanufatura. Foram identificados dois estudos de caso na Bélgica que avaliaram a viabilidade técnica e econômica das estratégias de reciclagem do plástico presente em REEE, resultando em economia circular devido ao seu reuso em ciclo fechado (WAGNER et al. 2019a,b). Sengupta et al. (2020) realizaram um estudo de caso sobre a responsabilidade estendida do produtor de REEE, onde constataram que a combinação dos setores formal e informal de reciclagem de REEE pode contribuir para a transição para a economia circular na Índia. Cordova-Pizarro et al. (2019), por meio de um estudo de caso, examinaram a gestão de centros de reciclagem de materiais secundários no México, provenientes de aparelhos celulares REEE, enfatizando que a reciclagem e o reuso desses resíduos contribuem para a economia circular. André et al. (2019), por meio de um estudo de caso, analisaram os impactos ambientais e benefícios econômicos decorrentes do tratamento, reciclagem, reutilização e remanufatura de laptops em fim de vida na Suécia, contribuindo para a promoção da economia circular. Tong et al. (2018), também por meio de um estudo de caso, investigaram as implicações da regulamentação ambiental na gestão de recicladoras na China, demonstrando que tais regulamentações podem melhorar a eficiência das operações e promover a circularidade de materiais, incluindo o reuso de REEE. Levänen et al. (2018), através de um estudo de caso, avaliaram as interações entre atividades de gestão e modelos de negócios da economia circular relacionados a recicladoras de REEE no Chile e Finlândia, evidenciando a importância dessas considerações para a operação de reciclagem e reuso em circuito fechado. Parajuly e Wenzel (2017), por sua vez, conduziram um estudo de caso para avaliar os requisitos necessários para maximizar o reaproveitamento de resíduos eletrônicos em centrais de reciclagem, concluindo que a adoção de práticas de reuso e reciclagem são essenciais para fomentar a circularidade. Hagelüken et al. (2016), por meio de estudo de caso, analisaram as políticas governamentais que incentivam a reciclagem em ciclo fechado nas recicladoras de REEE da Bélgica e Alemanha, visando à recuperação de metais preciosos. Sabtu et al. (2015), por meio de um estudo de caso, constataram que a incorporação de operadores logísticos na cadeia de logística reversa de REEE na Malásia resultou em um aumento no volume de reciclagem e na circularidade dos resíduos, além de reduzir os custos e aumentar as receitas.

3. Métodos

Realizou-se uma revisão sistemática da literatura para identificar o estado da arte em termos de gestão de REEE e logística reversa, bem como as melhores práticas e estratégias de economia circular já aplicadas em outros contextos. Quanto ao método, a revisão sistemática é uma

abordagem metodológica que pode ser utilizada em artigos de revisão e tem como objetivo responder a uma pergunta de pesquisa específica, com base em critérios pré-estabelecidos para a seleção, avaliação e síntese dos estudos (HIGGINS e GREEN, 2011).

O método PRISMA (MOHER et al., 2009) foi utilizado para conduzir a revisão em quatro etapas: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. A utilização do método PRISMA (MOHER et al., 2009), permite uma organização eficiente dos resultados e uma maior clareza na apresentação dos dados. Um fluxograma é apresentado na Figura 1 seguindo as recomendações deste método que ilustra as quatro fases do processo e o número de artigos relacionados em cada fase.

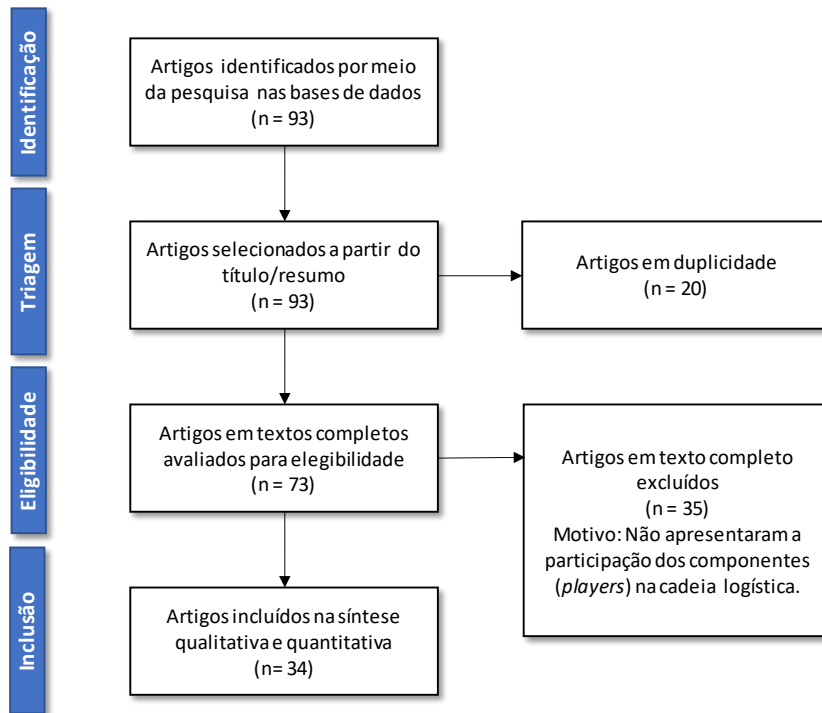
A revisão identificou um total de 93 artigos em periódicos de alto impacto, dos quais 34 foram considerados elegíveis após a triagem e aplicação dos critérios de exclusão. Os artigos foram consultados em diversas bases de dados, como *Scopus*, *Science Direct*, *Web of Science*, *Scielo*, *Emerald*, *Wiley*, *Proquest*, *Ebsco* e *Taylor & Francis.*, nos idiomas inglês, português e espanhol, abrangendo artigos publicados entre janeiro de 2010 a abril de 2023.

Os descritores utilizados foram: logística reversa, lixo eletrônico, economia circular, REEE, resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, recicladores, centro de reciclagem, gestores, gestora de resíduos, fabricantes, fabricante de eletrônicos. Foram utilizados os operadores booleanos *AND*, *OR* e *NOT* cruzando-se os descritores anteriormente relacionados nas bases de dados citadas.

Neste estudo, foram incluídos artigos que relacionaram o tema logística/cadeia reversa de REEE com a economia circular. Foram selecionados estudos de caso, *surveys*, modelagem e simulação que atendiam a esses critérios de inclusão. Foram excluídos os artigos que, embora tenham discutido o tema logística/cadeia reversa de REEE com a economia circular, não mencionaram a participação dos componentes da cadeia logística.

Por fim, é importante destacar que a falta de uma estrutura clara para a gestão de REEE e logística reversa evidencia a necessidade de mais pesquisas e de políticas públicas que promovam a economia circular e a sustentabilidade na gestão de resíduos eletrônicos.

Figura 1 – Método PRISMA para a escolha dos artigos



Fonte: Os autores (2023)

Para a análise dos dados, o conteúdo dos artigos foi registrado em um instrumento contendo: nome do(s) autor(es) e ano de publicação, método da pesquisa, local de publicação, se o artigo mencionou a economia circular, quais dos 4R's da economia circular o artigo mencionou, se o artigo mencionou a recuperação na cadeia produtiva ou recuperação no mercado secundário, e quais operadores logísticos são mencionados no artigo.

A análise de conteúdo envolve a identificação de temas e categorias com base na revisão da literatura e na análise dos dados coletados (BARDIN, 2016). Os dados são codificados e categorizados em temas relevantes que emergem da análise. Esses temas podem ser utilizados para desenvolver a estrutura conceitual.

Este estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura que aborda a relação entre logística e cadeia reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) com a economia circular (EC). A pesquisa identificou 19 artigos que abordam diretamente a EC, destacando suas ações de reciclagem, reutilização, remanufatura e redução de REEE. Os resultados indicam que os principais atores envolvidos na cadeia reversa de REEE são os fabricantes, gestores de resíduos e recicladores.

A Tabela 1 apresenta as variáveis que foram registradas no instrumento utilizado para a análise

dos dados, fornecendo uma visão geral dos dados coletados. Com base na análise desses dados, é possível desenvolver a estrutura conceitual para a logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos implementando práticas da economia circular.

Tabela 1 – Tabela de revisão de literatura

Autor/Ano	Método	País	Menciona sobre EC	4R's da EC		Tipo de Recuperação	Players
				Reusar (1) Reciclar (2) Reduzir (3) Remanufaturar (4)	Cadeia produtiva (A) Mercado secundário (B)	Fabricantes (F) Gestoras (G) Recicladores (R)	
Andersen (2022)	Estudo de caso	Europa					F
Shittu et al. (2021)	Survey	Índia	X	1, 4		A, B	F
Kumar e Dixit (2019)	Survey	Índia					F
Oliveira Neto et al. (2017)	Survey	Brasil e Suíça					F
Schevchenko et al. (2021)	Estudo de caso	Ucrânia	X	3			G
Shi et al. (2019)	Estudo de caso	Canadá					G
Matarazzo et al. (2019)	Estudo de caso	Itália	X	2		B	G
Bridgens et al. (2019)	Estudo de caso	Reino Unido	X	2			G
Isernia et al. (2019)	Estudo de caso	Itália	X	2			G
Agrawal et al. (2018)	Estudo de caso	Itália					G
Marconi et al. (2018)	Estudo de caso	Itália	X	2, 3		B	G
Brito et al. (2022)	Estudo de caso	Brasil	X	1, 2, 3		A, B	R
Otoni et al. (2020)	Estudo de caso	Brasil	X	2, 3		A, B	R
Sengupta et al. (2020)	Estudo de caso	Índia	X	2		A	F, R
Cordova-Pizarro et al. (2019)	Estudo de caso	México	X	1, 2, 3, 4		A, B	R
Wagner et al. (2019a)	Estudo de caso	Bélgica	X	1, 2, 3		A	R
Wagner et al. (2019b)	Estudo de caso	Bélgica	X	1, 2, 3		A	R
André et al. (2019)	Estudo de caso	Suécia	X	1, 2, 3, 4		A	R
Tong et al. (2018)	Estudo de caso	China	X	1, 2			R
Levanen et al. (2018)	Estudo de caso	Chile e Finlândia	X	2, 4		B	R
Alves e Farina (2018)	Estudo de caso	Brasil	X	2, 4			F, R
Wang et al. (2018)	Estudo de caso	China				B	R
Parajuly e Wenzel (2017)	Estudo de caso	Dinamarca	X	1, 2, 3, 4		A, B	F, R
Souza et al. (2016)	Estudo de caso	Brasil					R
Liu et al. (2016)	Modelagem e Simulação	China					R
Hagelucken et al. (2016)	Estudo de caso	Bélgica e Alemanha	X	2			R
Sabtu et al. (2015)	Survey	Malásia	X	2			R
Aras et al. (2015)	Modelagem e Simulação	Turquia					R
Kilic et al. (2015)	Modelagem e Simulação	Turquia					R
Song et al. (2013)	Estudo de caso	China					R
Assavapoee e Wongthatsanekorn (2012)	Modelagem e Simulação	Estados Unidos					R
Achillas et al. (2012)	Modelagem e Simulação	Grécia					R
Achillas et al. (2010a)	Modelagem e Simulação	Grécia					R
Achillas et al. (2010b)	Modelagem e Simulação	Grécia					R

Fonte: Os autores (2023)

4. Resultados

A “Gestora Coletiva” é responsável por implementar a gestão de REEE de forma reversa, ou seja, do final para o início da cadeia produtiva, estabelecendo pontos de coleta em todo o Brasil. Além disso, contratam coordenadores ou agentes logísticos terceirizados para gerenciar o transporte logístico de REEE.

Além da responsabilidade dos pontos de coleta na coleta de resíduos eletrônicos, a Gestora Coletiva também desempenha um papel importante nesse processo. É ela quem realiza a coleta nos pontos de coleta e transporta os resíduos para os depósitos ou armazéns, onde ocorre a triagem e separação dos materiais.

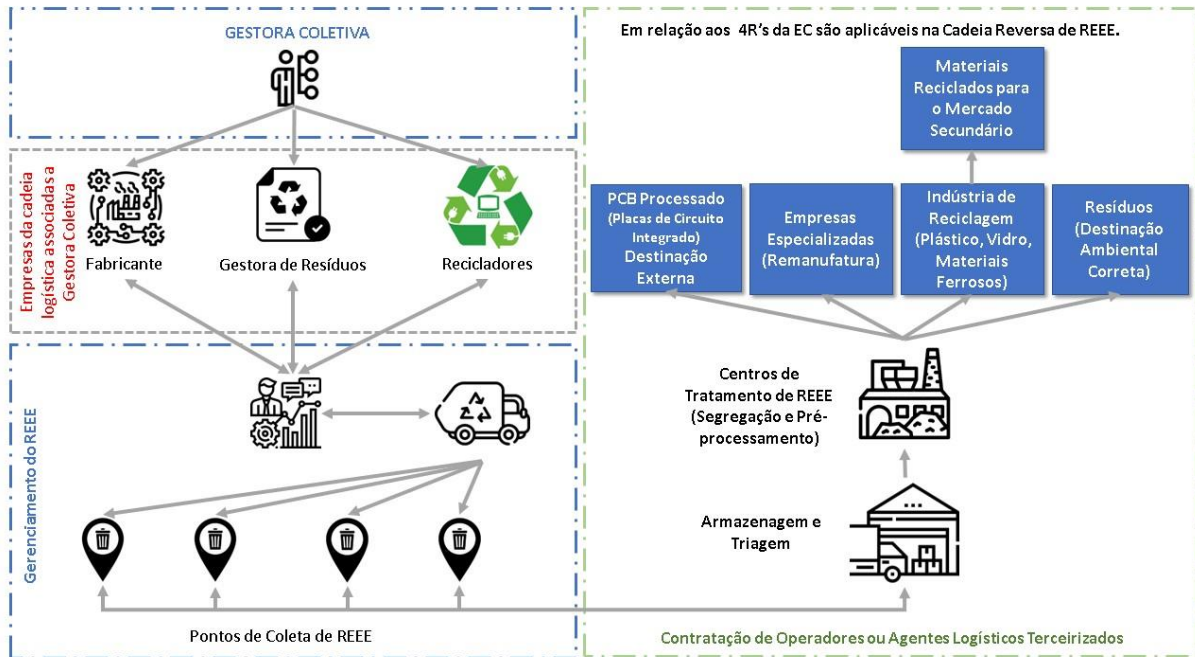
A partir daí, os resíduos são encaminhados aos centros de tratamento para o pré-processamento e segregação dos materiais. A Gestora Coletiva, portanto, é responsável por garantir a efetiva coleta e destinação adequada dos resíduos eletrônicos, contribuindo para a preservação ambiental e promoção da economia circular.

Os materiais como plásticos, vidros e metais ferrosos são encaminhados para empresas de reciclagem específicas enquanto ainda estão em tratamento na central de tratamento de REEE. Esses materiais são destinados ao mercado secundário e são reutilizados pelos remanufaturadores após o tratamento.

No entanto, o Brasil ainda não possui locais que processem itens pré-consumo, o que significa que esses materiais são encaminhados para empresas especializadas na extração de metais preciosos no exterior. É importante ressaltar que o descarte adequado dos materiais inutilizáveis é essencial e deve ser feito de acordo com a legislação vigente em centros de tratamento de REEE. Apesar de a cadeia reversa de resíduos no Brasil já estar em prática, ainda há muito a ser feito.

As práticas da economia circular estão diretamente relacionadas à destinação adequada dos resíduos eletrônicos, como as placas de circuitos integrados. Empresas especializadas em remanufatura e indústrias de reciclagem utilizam esses materiais para produzir novos produtos, promovendo a reutilização e reduzindo a extração de recursos naturais. Além disso, a destinação ambiental correta, por meio da distribuição dos centros de tratamento de REEE, contribui para a preservação do meio ambiente e a promoção da economia circular ao permitir que esses materiais sejam recuperados e reintroduzidos na cadeia produtiva. Ao adotar essas práticas, é possível reduzir a quantidade de resíduos eletrônicos descartados em aterros, minimizando os impactos negativos na natureza e promovendo a sustentabilidade em longo prazo.

Figura 2 – Modelo estrutural proposto da cadeia logística de REEE com aplicação dos 4R's da EC



Fonte: Os autores (2023)

5. Discussão

A gestão adequada do lixo eletrônico é uma preocupação crescente em todo o mundo. Os resultados destacados acima demonstram a necessidade de um sistema de gestão coletiva para a logística reversa de lixo eletrônico, que possa contribuir para a economia circular. O estudo de Shittu et al. (2021) ressalta a importância desse sistema, assim como a função essencial dos fabricantes, importadores e associações (SHEVCHENKO et al, 2021) na construção de uma cadeia reversa eficiente.

O acordo setorial brasileiro para eletroeletrônicos é um exemplo de um sistema coletivo que não apenas gerencia a cadeia reversa, mas também promove estratégias para impulsionar a economia circular, a partir da circularidade dos materiais (BRIDGENS et al., 2019) e da conformidade ambiental. A “PNRS” exige que o acordo cumpra requisitos em relação à gestão ambiental, o que promulga as leis aplicadas ao acordo setorial.

É importante destacar que o modelo coletivo dá grande importância às empresas gestoras de REEE, que realizam o processamento reverso da cadeia de REEE, estabelecendo pontos de coleta (SHEVCHENKO et al, 2021) e contratando coordenadores ou agentes logísticos terceirizados que gerenciam o transporte logístico de REEE em todo o país. No entanto, a gestão eficaz do lixo eletrônico ainda enfrenta desafios, como o descarte adequado de materiais inutilizáveis em conformidade com a legislação vigente.

É essencial garantir que esses materiais sejam removidos de forma ecológica (BRIDGENS et al., 2019) e que os princípios da economia circular (Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Recuperar) sejam implementados de acordo com as sugestões de Cordova-Pizzarro et al. (2019). Em geral, a gestão do lixo eletrônico é um problema complexo que requer a colaboração de várias partes interessadas, incluindo fabricantes, importadores, associações e governo (TONG et al., 2018). É importante continuar a discutir e explorar soluções para gerenciar efetivamente o lixo eletrônico e promover a economia circular. Nesse sentido, é fundamental a criação de uma estrutura conceitual para a logística reversa de REEE que considerasse a economia circular, uma vez que essa lacuna de pesquisa ainda não foi preenchida pela literatura.

6. Conclusão

Os resultados apresentados evidenciam a importância da gestão adequada do lixo eletrônico e a necessidade de um sistema de gestão coletiva para a logística reversa de REEE que contribua para a economia circular. Além disso, os resultados também mostram que a gestão eficaz do lixo eletrônico ainda enfrenta desafios, como o descarte adequado de materiais inutilizáveis em conformidade com a legislação vigente. É essencial garantir que esses materiais sejam removidos de forma ecológica e que os princípios da economia circular sejam implementados. Para solucionar esse problema complexo, é fundamental a colaboração de várias partes interessadas, incluindo fabricantes, importadores, associações e governo.

Em resumo, os resultados apresentados ressaltam a importância da gestão adequada do lixo eletrônico, da conformidade ambiental e da economia circular na cadeia reversa de REEE. É necessário continuar a discutir e buscar soluções para enfrentar os desafios da gestão do lixo eletrônico e promover a sustentabilidade ambiental e econômica.

As implicações do estudo indicam que a gestão adequada do lixo eletrônico é fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica. A implementação de um sistema de gestão coletiva para a logística reversa de REEE, que promova a circularidade dos materiais, pode trazer inúmeros benefícios, como a redução de impactos ambientais negativos, a criação de novas oportunidades de negócios e a geração de empregos. No entanto, a gestão efetiva do lixo eletrônico ainda enfrenta desafios, como o descarte adequado de materiais inutilizáveis em conformidade com a legislação vigente. É essencial que várias partes interessadas, incluindo fabricantes, importadores, associações e governo, colaborem para gerenciar efetivamente o lixo eletrônico e promover a economia circular.

As limitações deste estudo incluem a falta de uma análise aprofundada dos desafios específicos que a gestão de REEE enfrenta em diferentes contextos, como em regiões com diferentes níveis de infraestrutura e recursos financeiros. Além disso, o estudo se baseou em uma revisão sistemática da literatura, o que pode ter limitado a compreensão das práticas de economia circular aplicadas na logística reversa de REEE em diferentes setores e países. Por fim, é importante destacar que a implementação efetiva das práticas de economia circular na gestão do lixo eletrônico depende da superação de desafios e limitações específicos em cada contexto.

Acknowledgments

The authors are grateful to FAPESP–São Paulo Research Foundation (Proc. 2020/16364-5)

REFERÊNCIAS

- ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos - análise de viabilidade técnica e econômica. Brasília, novembro de 2013. Disponível em: http://www.resol.com.br/textos/dwnl_1362058667.pdf. Acesso em 25 de outubro de 2022.
- ACHILLAS, Ch et al. A multi-objective decision-making model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 76-84, 2012.
- ACHILLAS, Ch et al. Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of electrical and electronic equipment. **Waste Management**, v. 30, n. 12, p. 2592-2600, 2010.
- ACHILLAS, Ch et al. Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: A case study in Greece. **Waste Management**, v. 30, n. 5, p. 870-879, 2010.
- AGRAWAL, Saurabh; SINGH, Rajesh K.; MURTAZA, Qasim. Reverse supply chain issues in Indian electronics industry: a case study. **Journal of Remanufacturing**, v. 8, p. 115-129, 2018.
- ALVES, Davis Souza; FARINA, Milton Carlos. Disposal and reuse of the information technology waste: A case study in a Brazilian university. **European Business Review**, v. 30, n. 6, p. 720-734, 2018.
- ANDERSEN, Terje. A comparative study of national variations of the European WEEE directive: manufacturer's view. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 14, p. 19920-19939, 2022.
- ANDRÉ, Hampus; SÖDERMAN, Maria Ljunggren; NORDELÖF, Anders. Resource and environmental impacts of using second-hand laptop computers: A case study of commercial reuse. **Waste Management**, v. 88, p. 268-279, 2019.
- ARAS, Necati et al. Locating recycling facilities for IT-based electronic waste in Turkey. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 324-336, 2015.
- ASSAVAPOKEE, Tiravat; WONGTHATSANEKORN, Wuthichai. Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, n. 1, p. 129-140, 2012.
- BRIDGENS, Ben et al. Closing the loop on E-waste: A multidisciplinary perspective. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 169-181, 2019.
- BRITO, José Luiz Romero de et al. Reverse remanufacturing of electrical and electronic equipment and the circular economy. **Revista de Gestão**, v. 29, n. 4, p. 380-394, 2022.

CIVIL, Casa. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos**, 2010.

CORDOVA-PIZZARRO, Daniela et al. Circular economy in the electronic products sector: Material flow analysis and economic impact of cellphone e-waste in Mexico. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1361, 2019.

FORTI, Vanessa et al. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. 2020.

HAGELÜKEN, Christian et al. The EU circular economy and its relevance to metal recycling. **Recycling**, v. 1, n. 2, p. 242-253, 2016.

HIGGINS, Julian PT; GREEN, Sally. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. The Cochrane Collaboration. **London, UK**, 2011.

ISERNIA, Raffaele et al. The reverse supply chain of the e-waste management processes in a circular economy framework: Evidence from Italy. **Sustainability**, v. 11, n. 8, p. 2430, 2019.

KILIC, Huseyin Selcuk; CEBECI, Ufuk; AYHAN, Mustafa Batuhan. Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, p. 120-132, 2015.

KUMAR, Ashwani; DIXIT, Gaurav. A novel hybrid MCDM framework for WEEE recycling partner evaluation on the basis of green competencies. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118017, 2019.

LEVÄNEN, Jarkko; LYYTINEN, Tatu; GATICA, Sebastian. Modelling the interplay between institutions and circular economy business models: A case study of battery recycling in Finland and Chile. **Ecological Economics**, v. 154, p. 373-382, 2018.

LIU, Huihui et al. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy. **Omega**, v. 59, p. 290-302, 2016.

MARCONI, Marco et al. An approach to favor industrial symbiosis: The case of waste electrical and electronic equipment. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 502-509, 2018.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e Seus Componentes de 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/images/Acordo%20Setorial/Acordo%20Setorial%20-%20Eletroeletr%C3%B4nicos.pdf>. Acesso em 26 outubro de 2022.

MATARAZZO, Agata et al. Mass balance as green economic and sustainable management in WEEE sector. **Energy Procedia**, v. 157, p. 1377-1384, 2019.

MOHER, David et al. Reprint—preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Physical therapy**, v. 89, n. 9, p. 873-880, 2009.

DE OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso; CORREIA, Auro de Jesus Cardoso; SCHROEDER, Adriano Michelotti. Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 42-55, 2017.

OTTONI, Marianna; DIAS, Pablo; XAVIER, Lúcia Helena. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 120990, 2020.

PARAJULY, Keshav; WENZEL, Henrik. Product family approach in e-waste management: a conceptual framework for circular economy. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 768, 2017.

ROGERS, Dale S.; TIBBEN-LEMBKE, Ronald S. Going backwards: reverse logistics trends and practices, University of Nevada. **Reno Center for Logistics Management**, p. 64-65, 1998.

SABTU, Muhammad Idham et al. Multi-criteria decision making for reverse logistic contractor selection in e-

waste recycling industry using polytomous rasch model. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 27, 2015.

SANTOS, KAUÊ LOPES DOS. Waste electrical and electronic equipment in macro metropole paulista: legal framework and technology at the service of reverse logistics. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.

SENGUPTA, Diyasha et al. Circular economy and household e-waste management in India: Integration of formal and informal sectors. **Minerals Engineering**, v. 184, p. 107661, 2022.

SHEVCHENKO, Tetiana et al. Towards a smart E-waste system utilizing supply chain participants and interactive online maps. **Recycling**, v. 6, n. 1, p. 8, 2021.

SHI, Jianmai et al. A bi-objective multi-period facility location problem for household e-waste collection. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 2, p. 526-545, 2020.

SHITTU, Olanrewaju S.; WILLIAMS, Ian D.; SHAW, Peter J. Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. **Waste Management**, v. 120, p. 549-563, 2021.

SONG, Qingbin et al. The life cycle assessment of an e-waste treatment enterprise in China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 15, p. 469-475, 2013.

DE SOUZA, Ricardo Gabbay et al. Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. **Waste management**, v. 57, p. 46-56, 2016.

TONG, Xin et al. Towards an inclusive circular economy: Quantifying the spatial flows of e-waste through the informal sector in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 163-171, 2018.

WAGNER, F. et al. Towards a more circular economy for WEEE plastics–Part A: Development of innovative recycling strategies. **Waste Management**, v. 100, p. 269-277, 2019.

WAGNER, F. et al. Towards a more circular economy for WEEE plastics–Part B: Assessment of the technical feasibility of recycling strategies. **Waste Management**, v. 96, p. 206-214, 2019.

WANG, Wenbin et al. A closed-loop supply chain with competitive dual collection channel under asymmetric information and reward–penalty mechanism. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2131, 2018.