

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**AURO DE JESUS CARDOSO CORREIA**

**AVALIAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DA CADEIA REVERSA PARA A GESTÃO  
DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E DAS PRÁTICAS  
FAVORÁVEIS À ECONOMIA CIRCULAR**

**SÃO PAULO  
2021**

**AURO DE JESUS CARDOSO CORREIA**

**AVALIAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES DA CADEIA REVERSA PARA A GESTÃO  
DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E DAS PRÁTICAS  
FAVORÁVEIS À ECONOMIA CIRCULAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Prof. Geraldo Cardoso Oliveira Neto, Dr.  
- Orientador

**SÃO PAULO**

**2021**

Correia, Auro de Jesus Cardoso.

Avaliação das configurações da cadeia reversa para a gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil e das práticas favoráveis à economia circular. / Auro de Jesus Cardoso Correia. 2021.

109 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2021.

Orientador (a): Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto.

1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. 2. Economia circular. 3. Cadeia reversa. 4. Logística reversa.

I. Oliveira Neto, Geraldo Cardoso de.

II. Título

CDU 658.5



**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE**

**DE**

Auro de Jesus Cardoso Correia

Titulo da Tese: Avaliação das Configurações da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos e dos Fatores Favoráveis à Economia Circular: Survey em Empresas Fabricantes e Importadoras de Eletroeletrônicos no Brasil.

A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Auro de Jesus Cardoso Correia Aprovado.

São Paulo, 11 de março de 2021.

*Geraldo Cardoso de Oliveira Neto*

---

Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (UNINOVE / PPGE) – Orientador

*Irenilza de Alencar Naas*

---

Prof(a). Dr(a). Irenilza de Alencar Naas (UNIP/ PPGE) – Membro Externo

*Ivanir Costa*

---

Prof(a). Dr(a). Ivanir Costa (UNINOVE / PPGI) - Membro Externo

*Rosângela Maria Vanalle*

---

Prof(a). Dr(a). Rosângela Maria Vanalle (UNINOVE / PPGE) - Membro Interno

*Lutz Fernando Rodrigues Pinto*

---

Prof(a). Dr(a). Lutz Fernando Rodrigues Pinto (UNINOVE / PPGE) – Membro Interno

Dedico este trabalho aos meus pais, que tanto apoiaram e incentivaram o meu crescimento profissional e por todo amor que tenho por eles.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de vida e por tantas coisas boas que me concedeu.

Aos meus queridos pais, Francisco Correia e Maria Argentina Cardoso Correia, meu porto seguro em todas as fases de minha vida.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, que me incentivou, ensinou e acima de tudo acreditou em mim.

Aos professores Dr. Ivanir Costa, Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto, Dra. Irenilza de Alencar Naas e a Dra. Rosangela Maria Vanalle pelas valiosas contribuições.

Aos demais professores e colegas que me transmitiram conhecimentos e experiências.

Aos meus irmãos, Antônio, Maria e Ailton, por todo o incentivo e apoio em todas as etapas de minha vida.

Aos meus filhos, Dayane, Nicolas e Nicolye pela compreensão e motivação.

A minha netinha Isabella pela motivação e pelo exemplo de superação.

A Josiane, minha companheira de todas as horas, o meu agradecimento especial pelo amor, compreensão, incentivo e paciência.

Muito Obrigado!

## RESUMO

Na era da industrialização acelerada, a alta produção de equipamentos eletroeletrônicos leva à geração de grandes quantidades de resíduos, o que pode causar desequilíbrios ao meio ambiente. Nesse contexto, é aplicada a Economia Circular, que propõe o conceito de evitar desperdícios, buscando minimizar o consumo de recursos naturais, o reaproveitamento de resíduos e a aplicação de um sistema econômico baseado na circularidade material. Nesse cenário, a Agenda 2030 das Nações Unidas (da qual o Brasil é signatário) destaca a necessidade do desenvolvimento de práticas organizacionais na gestão de resíduos como um dos propósitos para promover a Economia Circular. Ausências na literatura sobre a identificação da configuração mais adequada para a gestão da cadeia reversa do lixo eletrônico no Brasil e suas respectivas práticas que favorecem a Economia Circular, além do direcionamento do material reciclado e a aplicação prática dos '4Rs' da Economia Circular, caracterizam as lacunas desta pesquisa. Assim, o objetivo deste estudo é identificar a configuração mais adequada para a gestão da cadeia reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil e suas respectivas práticas favoráveis à Economia Circular, além do direcionamento do material reciclado e a aplicação prática dos '4Rs' da Economia Circular. O método de pesquisa utilizado no estudo foi o *Survey*. Os resultados revelaram que a configuração mais adequada para promover a Economia Circular no Brasil, refere-se à “Gestora Coletiva” e o material reciclado é direcionado ao “Mercado Secundário”. No que diz respeito aos '4Rs' da Economia Circular, apenas o 'R' Reciclar e o 'R' Remanufatura são aplicados nesta cadeia reversa. Para os resultados atribuídos às treze práticas, as quais influenciam a gestão da cadeia reversa para promover a Economia Circular no Brasil, a mais representativa fez referência às legislações e regulamentações, e a participação efetiva do consumidor, seguido pela gestão das empresas terceirizadas de reciclagem, além da inserção de operadores logísticos e estratégias de tratamento e reciclagem. Para as práticas menos representativas, foram destacadas simulações e estratégias de otimização para transporte logístico, centros de coleta e centros de reciclagem.

**Palavras-chave:** Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos; Economia Circular; Cadeia Reversa; Logística Reversa

## ABSTRACT

In the era of accelerated industrialization, the high production of electro-electronic equipment leads to the generation of large amounts of waste, which can cause imbalances to the environment. In this context, Circular Economy is applied, which proposes the concept of avoiding waste, seeking to minimize the consumption of natural resources, the reuse of waste and the application of an economic system based on material circularity. In this scenario, the United Nations Agenda 2030 (of which Brazil is a signatory) highlights the need for the development of organizational practices in waste management as one of the purposes to promote the Circular Economy. Absences in literature concerning the identification of the most adequate configuration for the management of the e-waste reverse chain in Brazil and its respective practices that favor the Circular Economy, in addition to the direction of the recycled material and the practical application of the '4Rs' of the Circular Economy, characterize the gaps in this research. Thus, the objective of this study is to identify the most suitable configuration for the management of the electro-electronic waste reverse chain in Brazil and its respective practices favorable to the Circular Economy, in addition to the direction of the recycled material and the practical application. of the '4Rs' of the Circular Economy. The research method used in the study was the Survey. The results revealed that the most suitable configuration to promote Circular Economy in Brazil, refers to the 'Collective Management' and the recycled material is directed to the 'Secondary Market'. As far as the '4Rs' of Circular Economy are concerned, only the 'R' Recycle and the 'R' Remanufacturing are applied in this reverse chain. For the results attributed to the thirteen practices, which influence the management of the reverse chain to promote the Circular Economy in Brazil, the most representative made reference to legislations and regulations, and the effective participation of the consumer, followed by the management of outsourced companies for recycling, in addition to the insertion of logistic operators and treatment and recycling strategies. For the least representative factors, simulations and optimization strategies for logistical transportation, collection centers and recycling centers were highlighted.

**Keywords:** Waste Electrical and Electronic Equipment; Circular Economy; Reverse Chain; Reverse Logistics

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Número de Artigos Científicos Publicados por Ano .....	26
Figura 2 – Número de Artigos Científicos Publicados por Periódicos .....	33
Figura 3 – Número de Artigos Científicos por Países ou Territórios.....	34
Figura 4 – Métodos por Número de Publicações Científicas.....	34
Figura 5 – Estrutura Conceitual (Módulos 1 e 2).....	50
Figura 6 – Diagrama de Fluxo de Pesquisa Baseado no Método PRISMA.....	52
Figura 7 – Bases de Dados e Conjuntos de Palavras-Chave .....	53
Figura 8 – Teste do Tamanho Mínimo da Amostra no Software G*Power.....	58
Figura 9 - Análise Descritiva da Questão 1 (Fabricante, Gestora, Recicladora) .....	61
Figura 10 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 1 .....	63
Figura 11 – Análise Descritiva da Questão 2 (Reduzir, Reuso, Remanufatura, Reciclar) .....	65
Figura 12 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 2.....	67
Figura 13 – Análise Descritiva da Questão 3 (Fabricante, Gestora, Recicladora) ... .....	69
Figura 14 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 3.....	70
Figura 15 – Análise Descritiva da Questão 4 (Fabricante, Gestora, Recicladora) ... .....	72
Figura 16 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 4.....	73
Figura 17 – Análise Descritiva das Práticas Favoráveis à EC (Questões 5 a 17) ... .....	75
Figura 18 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ das Questões (5 a 17).....	77
Figura 19 – Questão (5 a 17) – Classificação Ordenada das Práticas.....	78
Figura 20 – Representação Esquemática da Gestora Coletiva.....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1a – (Embasamento Teórico das Práticas Favoráveis à EC).....	31
Quadro 1b – (Embasamento Teórico das Práticas Favoráveis à EC).....	32
Quadro 2a – (Análise Cruzada dos Resultados da Literatura Científica e Autorias .....)	46
Quadro 2b – (Análise Cruzada dos Resultados da Literatura Científica e Autorias .....)	47
Quadro 3 – (Testes Estatísticos Não-Paramétricos, Avaliações e Questões Vinculadas).....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
EC	Economia Circular
EEE	Equipamentos Eletroeletrônicos
EPRS	<i>European Parliamentary Research Service</i>
REP	Responsabilidade Estendida do Produtor
EUA	Estados Unidos da América
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
QUORUM	<i>Quality of Reporting of Meta-Analyses</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i>
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
UE	União Europeia

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA .....	18
1.2. OBJETIVOS .....	21
1.2.1. Objetivo Geral .....	21
1.2.2. Objetivos Específicos .....	21
1.3. JUSTIFICATIVAS .....	21
1.4. DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	22
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	23
<b>2. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
2.1. PROCEDIMENTOS E PROTOCOLO UTILIZADOS NA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA CIENTÍFICA .....	24
2.2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E O EMBASAMENTO TEÓRICO DA LITERATURA CIENTÍFICA .....	24
2.3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	35
2.3.1. Economia Circular e a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos com Ênfase na “Fabricante” de EEE .....	35
2.3.2. Economia Circular e a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos com Ênfase na “Gestora” de REEE .....	36
2.3.3. Economia Circular e a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos com Ênfase na “Recicladora de REEE .....	38
2.3.4. Definição da Estrutura Conceitual com Base na Revisão da Literatura Científica .....	48
<b>3. METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>51</b>
3.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	51
3.1.1. Revisão Bibliométrica e Sistemática da Literatura Científica .....	51
3.1.2. Definição do Método de Pesquisa e Procedimento de Coleta dos Dados	54
3.1.3. Definição dos Testes Estatísticos e Procedimento de Análise dos dados	55

<b>4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>60</b>
4.1. ANÁLISE DESCRITIVA E ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA (TESTE DE FRIEDMAN) .....	60
4.1.1. Grau de Importância dos <i>Players</i> na Gestão da Cadeia Reversa de REEE para Promoção da EC .....	60
4.1.2. Níveis de Aplicação Prática dos '4Rs' da EC na Cadeia Reversa de REEE .....	65
4.1.3. Grau de Importância dos <i>Players</i> na Gestão da Cadeia Reversa de REEE e o Envio dos Materiais Reciclados ao Mercado Secundário .....	68
4.1.4. Grau de Importância dos <i>Players</i> na Gestão da Cadeia Reversa de REEE e o Envio dos Materiais Reciclados às Fabricantes de Eletroeletrônicos .....	71
4.2. ANÁLISE DESCRITIVA E ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA (TESTE DE KRUSKAL-WALLIS) .....	74
4.2.1. Grau de Importância das Práticas Favoráveis à EC para a Gestão da Cadeia Reversa de REEE .....	74
4.3. CONFIGURAÇÃO DA CADEIA REVERSA DE REEE MAIS ADEQUADA PARA PROMOÇÃO DA EC NO BRASIL .....	80
4.3.1. Gestão da Cadeia Reversa de REEE Por Meio do <i>Player</i> (Gestora Coletiva) .....	81
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE 1 – Questionário de pesquisa direcionado a profissionais que representam as fabricantes e importadoras de eletroeletrônicos (gerentes, gestores e supervisores da área de sustentabilidade) das empresas .....</b>	<b>102</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A industrialização acelerada, a globalização e a alta competitividade resultaram no aumento da produção deliberada de produtos e insumos nos mais variados segmentos de mercado. Este crescimento da atividade industrial induz à geração e emissão de grandes quantidades de resíduos ao meio ambiente, desencadeando problemas críticos a nível global (ESPÓSITO; TSE; SOUFANI, 2015).

Neste cenário, apresenta-se a elevada produção de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE), tornando-se um problema no momento do descarte, o que acarreta na geração quantidades consideráveis de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), podendo-se ocasionar desequilíbrios ao meio ambiente em termos de impactos ambientais, devido a existência de substâncias químicas contidas neste tipo de resíduo, tais como arsênio, mercúrio, cádmio, berílio, bário, chumbo (ITU, 2016).

Por outro lado, sob o ponto de vista socioeconômico, o descarte do REEE representa oportunidades para a economia, devido a possibilidade do reaproveitamento e a comercialização da matéria-prima contida neste tipo de resíduo, tais como plástico, ferro, alumínio, aço, ouro, prata, bronze, cobre, platina e paládio (ABDI, 2013). Nessa abordagem contextual surge a Economia Circular (EC) que propõe que se evite desperdícios, procurando minimizar o consumo de recursos naturais por meio da implementação de sistemas econômicos, seguindo a lógica semelhante aos princípios cíclicos na natureza, de modo que os materiais secundários são reaproveitados como recursos para suprirem as cadeias produtivas (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

Em termos de circularidade material, a EC é considerada restaurativa e regenerativa, com o propósito de manter valores agregados aos materiais, o máximo de tempo possível. Esse conceito de EC baseia-se em um ciclo de desenvolvimento contínuo que preserva e cria valores ao capital natural, reduzindo o risco de escassez dos materiais finitos, além de maximizar o fluxo dos materiais renováveis (EMF, 2015). Diante disso, a EC cria benefícios para a redução de impactos ambientais na extração de recursos finitos, na destinação dos resíduos e na mitigação de poluentes, além de proporcionar oportunidades para retornos econômicos (EMF, 2015).

A EC refere-se à quebra de paradigmas, representando a alternativa mais adequada ao desenvolvimento econômico sustentável, buscando-se substituir o paradigma anterior, denominado “Economia Linear” (extrair, produzir, consumir,

descartar). Além do mais, a EC é baseada em uma economia que não tem efeito prejudicial ao meio ambiente, procurando-se garantir o menor desperdício possível de recursos (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Este novo paradigma é tido como um modelo econômico restaurativo e regenerativo, mantendo-se produtos e materiais nos mais altos níveis de utilidade e geração de valor (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Além disso, o paradigma da EC é implementado em três camadas (micro, meso e macro), sendo que o nível micro trata da circularidade dos sistemas individuais de produção, no qual as empresas desenvolvem inovações específicas e particulares, no nível meso, o propósito é desenvolver uma rede eco-industrial, que possa proporcionar benefícios aos sistemas regionais (YUAN *et al.*, 2006). O nível macro é mais abrangente que os níveis micro e meso, envolvendo a interrelação entre redes industriais, direcionadas às províncias ou amplas divisões territoriais (GHISELLINI; CIALANI; ULGATI, 2016).

Ressalta-se que a EC é convergente com o desenvolvimento sustentável, a qual incrementa em seus princípios, as dimensões da sustentabilidade. O “*Triple Bottom Line*”, traduzido para o português como tripé da sustentabilidade, é o conjunto dos pilares (econômico, ambiental e social) que compõe a sustentabilidade. Nesse enquadramento de sustentabilidade, a EC busca o desenvolvimento de processos flexíveis, eficientes e ao mesmo tempo sustentáveis (LUTHRA; MANGLA, 2018).

Neste contexto de EC e dos princípios da sustentabilidade, a Organização das Nações Unidas (ONU) enfatiza a importância da Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Agenda Global 2030 lançada pela ONU em setembro de 2015 destaca o ODS, englobando objetivos com múltiplas metas embasadas nos critérios da sustentabilidade (econômico, ambiental e social). Entre os ODS, destacam-se as estratégias de redução de resíduos, redução no consumo da matéria-prima virgem, redução das emissões de gases de efeito estufa, poupança energética e a utilização de energias e recursos renováveis. Para que estes objetivos sejam alcançados, há a necessidade de processos tecnológicos inovadores e a implementação de estratégias eficientes, a fim de promover a reutilização dos resíduos, o equilíbrio dos recursos renováveis, a redução do consumo e extração dos recursos finitos, além do reconhecimento de que a “Economia Linear” é um modelo insustentável que precisa ser substituído de curto a médio prazo pela EC (UN, 2015).

Utilizando-se como base os ODS e suas respectivas metas correspondentes para o desenvolvimento sustentável e a EC, o Brasil é um dos países signatários da Agenda 2030 da ONU, participante de comitês e grupos de trabalhos colaborativos

para a elaboração dos ODS. Nessa perspectiva, a participação ativa do Brasil permite uma boa visibilidade do país junto aos demais integrantes da ONU, além do comprometimento e a participação do mesmo para que os objetivos e metas dos ODS com embasamento na EC sejam alcançados na realidade brasileira (XAVIER; LINS, 2018).

Em termos de operacionalização da EC, destacam-se os princípios relacionados às práticas “4Rs da EC” (Reduzir, Reuso, Remanufatura, Reciclar). Trata-se de um conceito originário de estruturas políticas do parlamento europeu para resíduos na UE, também conhecido como estratégias ‘4R’ da EC (STAHEL, 2019). De um modo geral, as estratégias “4Rs da EC” seguem uma hierarquia que considera as práticas de redução como as mais valiosas, seguidas das práticas de reuso, remanufatura e reciclagem, uma vez que grande parte do valor intrínseco permanece no produto (STAHEL, 2019).

Neste contexto hierárquico das práticas “4Rs da EC”, as organizações devem primeiro procurar implementar a eficiência de recursos e a prevenção de resíduos no planejamento e fabricação de seus produtos (‘R’ Reduzir), seguido da estratégia de prolongamento da vida útil do produto por meio do reuso (‘R’ Reuso), tanto quanto possível. Quando o reuso não for mais viável, procura-se aplicar a remanufatura (‘R’ Remanufatura). Por último, considera-se a prática de reciclagem (‘R’ Reciclar), de modo que os resíduos são utilizados para a recuperação da matéria-prima, criando-se valor ao material secundário e à circularidade do mesmo (KIRCHHERR, REIKE E HEKKERT, 2017; STAHEL, 2019).

Os autores Blomsma *et al.* (2019) e Morseletto (2020) consideram as seguintes definições e aplicações práticas para os “4Rs da EC”:

- O primeiro ‘R’ Reduzir - Comumente relacionado ao projeto do produto de modo que o mesmo possa consumir menos energia; Rotulagem ecológica (selos que certificam e atestam que determinado material ou produto atua de acordo com normas ou diretrizes que respeitam o meio ambiente); Redução ou eliminação de substâncias tóxicas aplicadas a produtos ou materiais.

- O segundo ‘R’ Reuso - Prolongamento da vida útil do produto, de modo que o mesmo possa ser reutilizado por um prazo maior, mitigando a geração de resíduos; Relativo à recirculação dos produtos que ainda estão em boas condições de uso; Produto que se encontra obsoleto para alguns usuários, mas atende aos requisitos de outros, estendendo a vida útil do equipamento.

- O terceiro 'R' Remanufatura - Recuperação e recirculação de peças e componentes; Produção de novos produtos (secundários) por meio do uso de peças descartadas; Criação de novos módulos por meio do uso de peças recondicionadas, oriundas do produto descartado.

- O quarto 'R' Reciclar – Reaproveitamento da matéria-prima por meio de estratégias de reciclagem; Reduz a necessidade do uso da matéria-prima virgem devido ao uso da matéria-prima secundária (reciclada); Diminui a extração da matéria-prima virgem a ser retirada da natureza devido ao uso proporcional da matéria-prima secundária.

Em específico ao segmento de EEE e sua respectiva cadeia reversa de REEE, as práticas "4Rs da EC", não necessariamente precisam seguir as estratégias hierárquicas '4R', de modo que, a criação de valor pode ser obtida por meio da inter-relação dessas práticas. Quanto mais práticas relacionadas aos "4Rs da EC" forem utilizadas, maior será a criação de valor às organizações, à cadeia reversa, e aos respectivos produtos e materiais (BRESSANELLI *et al.*, 2020).

No que se refere às indústrias de eletroeletrônicos, o EEE é classificado como uma das principais inovações em desenvolvimento contínuo, seja por meio da fabricação e uso de novos produtos baseados em sistemas digitais a níveis de escalas domésticas e corporativas, ou até mesmo no desenvolvimento de equipamentos específicos com estruturas cada vez mais miniaturizadas, aplicáveis nas mais diversas áreas (ABDI, 2013).

Oriundo do EEE em fim de vida, a legislação europeia define o REEE como resíduos resultantes de equipamentos dependentes de correntes elétricas para o seu funcionamento, projetados para uma tensão nominal inferior a 1000 volts para corrente alternada, e até 1500 volts para corrente contínua, definição também adotada no Brasil (EUROPEAN UNION, 2003).

Levando-se em consideração o consumo de EEE, a geração do lixo eletrônico e a respectiva relação com a EC, iniciativas governamentais e legislativas podem contribuir com a criação de valores (ambientais, econômicos e sociais) por meio da implementação de estratégias de gestão e reciclagem do REEE, buscando-se o reaproveitamento da matéria-prima secundária em benefício da circularidade material (ITU, 2016).

Há de se destacar que, a nível global, segundo as diretrizes desenvolvidas pela "*Partnership on Measuring ICT for Development*", as quais representam uma visão mais abrangente das estatísticas globais do lixo eletrônico, o REEE representa uma

das fontes de resíduos mais preocupantes em termos de crescimento rápido e contínuo em todos os continentes. Cerca de 45 milhões de toneladas do lixo eletrônico são gerados anualmente em todo o globo, com uma taxa percentual de crescimento de 5% ao ano, aproximadamente (BALDÉ *et al.*, 2017).

Com isso, denota-se a importância da gestão do REEE direcionada à EC, procurando-se realizar estratégias adequadas à validação do sistema de logística reversa para este tipo de resíduo. Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1998), o conceito de logística reversa pode ser compreendido como atividades de planejamento, implementação e controle do fluxo reverso, sejam elas, de matérias-primas, produtos acabados, rejeitados ou descartados, buscando-se dar uma destinação final de retorno ao ciclo de negócios, com o mínimo impacto ambiental possível e embasamento em termos legais.

No cenário legislativo mundial, em termos de gestão do sistema de logística reversa de REEE, destacam-se as legislações relacionadas aos países da União Europeia (UE). Na UE, a legislação mais abrangente sobre o lixo eletrônico, refere-se à (Diretiva 2012/19/UE), a qual visa contribuir com a produção e consumo sustentáveis dos EEEs, procurando-se prevenir e tratar os REEES, por meio de estratégias de redução, reuso, remanufatura ou reciclagem, convergentes aos critérios relacionados às práticas “4R da EC” (COUGHLAN E FITZPATRICK, 2020).

A (Diretiva 2012/19/UE) preceitua os “Princípios da Responsabilidade Estendida do Produtor”, estabelecendo metas de coletas e tratamentos adequados aos REEES para os países membros da UE. A presente legislação preconiza que a partir de 2019, a taxa mínima obrigatória de retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa, encontra-se fixada ao percentual de 65% da quantidade de produtos eletroeletrônicos colocados no mercado nos últimos três anos. (COUGHLAN E FITZPATRICK, 2020).

No cenário legislativo brasileiro, a legislação mais específica em relação à gestão do sistema de logística reversa de REEE, refere-se à Lei Federal nº 12.305/2010, denominada como “Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS tem como um de seus princípios, o poluidor-pagador, a qual define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do EEE de forma individualizada, abrangendo os atores ou membros dessa cadeia de suprimentos (BRASIL, 2010).

NA PNRS, destacam-se os acordos setoriais, referidos como atos legais de natureza contratual, assinados entre o poder público e os *players* ou atores envolvidos na cadeia reversa, tais como fabricantes, gestoras, recicladores, além de

distribuidores e importadores, buscando-se a adaptabilidade ao sistema de gestão dos resíduos sólidos (CNI, 2014).

Em específico ao “Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos” no Brasil (assinado em 31 de outubro de 2019), considera-se que os fabricantes, distribuidores e comerciantes de EEE são obrigados a implementarem e estruturarem um sistema de gestão da cadeia reversa de REEE, mediante o retorno deste tipo de produto em fim de vida. Ademais, neste Acordo Setorial, destaca-se a obrigatoriedade do recolhimento e destinação final ambientalmente adequada na taxa percentual de 17%, em peso, dos eletroeletrônicos colocados no mercado até o 5º ano, a partir da assinatura do mesmo (MMA, 2019).

Além disso, no “Acordo Setorial para a Implantação do Sistema de Logística Reversa de Eletroeletrônicos”, considera-se algumas modalidades de operacionalização da cadeia reversa de REEE, tais como: “modelo coletivo”; “modelo individual”; “modelo de iniciativas isoladas” (MMA, 2019).

No modelo coletivo, a operacionalização para a gestão da cadeia reversa de REEE é realizada por meio de entidades Gestoras (pessoas jurídicas constituídas por fabricantes, importadoras e / ou associações de fabricantes e importadores de EEE que tenham condições técnicas de gestão, com o propósito de implementar, estruturar e operacionalizar o sistema de gestão da cadeia reversa de REEE (MMA, 2019).

No modelo individual, a operacionalização da cadeia reversa de REEE poderá ser estruturada, diretamente pelas fabricantes ou importadoras de EEE, as quais poderão realizar a gestão de forma individual, sem o intermédio de entidades Gestoras (MMA, 2019).

Nas modalidades relacionadas a iniciativas isoladas para a gestão do fluxo reverso do REEE, que não forem objeto de contratação de (fabricantes de EEE, importadoras ou gestoras coletivas de REEE) serão consideradas ações voluntárias, entretanto, essas empresas ou instituições isoladas, ficam responsabilizadas de dar destinação final, ambientalmente adequada no percentual de 100% do lixo eletrônico coletado (MMA, 2019).

## 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Com base nas publicações existentes sobre a Gestão de resíduos eletroeletrônicos direcionada à EC, identificou-se na literatura científica que diversas práticas são responsáveis por influenciar a cadeia reversa de REEE a promover a EC.

Dentre essas práticas, a literatura destaca a importância de “Legislações e Regulamentações”, utilizando-as como referencial para maximizar o retorno do REEE à cadeia reversa e a melhoria da circularidade material, as quais são responsáveis por promover a EC na obtenção de ganhos econômicos (SHI *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2016; ARAS *et al.*, 2015), a redução de impactos ambientais (LEVANEN, LYYTINEN E GATICA 2018; HAGELUKEN *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2013) e contribuições sociais (BRIDGENS *et al.*, 2019; KUMAR E DIXIT, 2019; ISERNIA *et al.*, 2019).

Para a prática relacionada ao “tratamento e reciclagem de REEE”, os estudos científicos evidenciam a importância da adoção de estratégias inovadoras de reciclagem e reutilização do REEE para a EC, contribuindo com a mitigação de impactos ambientais (MATARAZZO *et al.*, 2019; MARCONI *et al.*, 2018; NETO, CORREIA E SCHROEDER, 2017), além de produzir o aumento de receitas à cadeia reversa (PARAJULY E WENZEL, 2017; WAGNER *et al.*, 2019a; CORDOVA-PIZARRO *et al.*, 2018).

Com relação à prática vinculada aos “metais preciosos” oriundos do REEE, a efetividade da EC é dependente de investimentos em transferência de tecnologias para a obtenção de ganhos econômicos (NETO, CORREIA E SCHROEDER, 2017) e implementações de novos processos de recuperação e reutilização dos metais não ferrosos (ANDRÉ, SODERMAN E NORDELOF, 2019; BRIDGENS *et al.*, 2019; MARCONI *et al.*, 2018).

Para as práticas relacionadas a “instalações de centrais de reciclagem” e “centros de coleta”, aplicações de modelos matemáticos e computacionais são favoráveis à EC na obtenção de localizações ótimas, as quais possibilitam reduções de custos à cadeia reversa de REEE (ACHILLAS *et al.*, 2010b; KILIC, CEBECI E AYHAN, 2015), a mitigação de impactos ambientais (ARAS *et al.*, 2015), além do não direcionamento do lixo eletrônico a aterros sanitários (ACHILLAS *et al.*, 2010a).

No que se refere à EC em termos de práticas relacionadas a “substâncias perigosas” oriundas do lixo eletrônico, as publicações científicas destacam a acessibilidade e a distribuição otimizada de pontos de coleta como importantes para promover a mitigação de poluentes direcionados ao meio ambiente e o reaproveitamento da matéria-prima secundária (SHI *et al.*, 2016; ISERNIA *et al.*, 2019).

Relativo à prática “Estratégias de Redução do Setor Informal” e sua respectiva relação com a EC, estudos evidenciam a falta de controle em relação ao mercado

informal de REEE, aumentando o risco de impactos ambientais, além da limitação de ganhos econômicos ao setor formal de reciclagem, o que implica na necessidade de planejamentos estratégicos para fins de redução desse mercado informal (LIU *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2016).

Em termos de atividades direcionadas à “remanufatura de REEE” e a EC, estudos abordaram a importância da implementação de práticas da remanufatura para a melhoria da circularidade material, a redução de impactos ambientais e aumento de ganhos econômicos à cadeia reversa (ALVES E FARINA, 2018; CORDOVA-PIZARRO, 2019; ANDRÉ, SODERMAN E NORDELOF, 2019).

Outras importantes práticas identificadas na literatura para a promoção da EC, referem-se aos varejistas (WANG *et al.*, 2018), gestão de empresas terceirizadas de reciclagem e reutilização (AGRAWAL, SINGH E MURTAZA, 2018), otimização do transporte logístico (ACHILLAS *et al.*, 2012), operadores logísticos terceirizados (SABTU *et al.*, 2015) e a participação efetiva do consumidor na cadeia reversa (ISERNIA *et al.*, 2019), as quais influenciam nas estratégias de coleta e reciclagem do lixo eletrônico, reduzindo o direcionamento de poluentes ao meio ambiente, além de gerarem ganhos econômicos à cadeia reversa de REEE.

Em específico às atividades de gestão relacionadas aos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora), a literatura científica indica que todas as configurações das cadeias reversas relacionadas aos fabricantes de EEE (KUMAR E DIXIT, 2019; NETO, CORREIA E SCHROEDER, 2017), às entidades gestoras de REEE (MATARAZZO *et al.*, 2019; SHI *et al.*, 2019), às recicladoras de REEE (ACHILLAS *et al.*, 2012; ASSAVAPOKEE E WONGTHATSANEKORN, 2012; ARAS *et al.*, 2015) são favoráveis a promoverem a EC. Entretanto, não foram encontrados trabalhos científicos que tenha avaliado entre essas três configurações, qual é a configuração mais adequada a promover a EC no Brasil. Com isso, sugere-se as seguintes questões de pesquisa:

1 - Como identificar a melhor configuração para a gestão da cadeia reversa de REEE, responsável por promover a EC no Brasil?

2 - Qual é o “grau de importância” das práticas favoráveis à EC, no que se refere à gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil?

3 - Qual é o “grau de importância” de cada *Player* (Fabricante, Gestora, Recicladora) para a promoção da EC no Brasil, em termos de gestão da cadeia reversa de REEE, o direcionamento do material reciclado, além da aplicação prática dos “4Rs da EC” nessa cadeia?

## 1.2. OBJETIVOS

Esta subseção tem como finalidade apresentar os objetivos do presente trabalho.

### 1.2.1. Objetivo Geral

- Propõe-se com o presente trabalho, identificar qual é a configuração mais adequada para a gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil e suas respectivas práticas favoráveis à EC, além do direcionamento do material reciclado e a aplicação prática dos ‘4Rs’ da EC.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Na literatura científica sobre a gestão de REEE, identificar a estrutura conceitual mais adequada à EC, bem como a identificação das principais práticas favoráveis à EC, além da avaliação da importância dos *players* na gestão da cadeia reversa de REEE para a promoção da EC.

- Avaliar o grau de importância das principais práticas favoráveis à EC para a gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil.

- Avaliar o grau de importância dos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) para a gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil em termos de EC, o direcionamento do material reciclado (mercado secundário ou cadeia produtiva de EEE), além dos níveis de aplicação prática dos “4Rs da EC” na cadeia reversa.

## 1.3. JUSTIFICATIVAS

Justifica-se o presente estudo, inicialmente pelo número reduzido de pesquisas científicas sobre a gestão de REEE, as quais evidenciam as práticas favoráveis à EC e a importância dos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) na configuração da

cadeia reversa de REEE para promover a EC. Ademais, ao identificar a melhor configuração da cadeia reversa de REEE, responsável por promover a EC no Brasil, o “grau de importância” das práticas favoráveis à EC e o “grau de importância” de cada *Player* (Fabricante, Gestora, Recicladora), poder-se-á contribuir com a teoria (literatura científica), além de contribuições para a prática organizacional e com a sociedade.

Buscando-se corroborar a importância deste cenário apresentado, cita-se o documento produzido pela UNEP (2015), o qual menciona que o Brasil representa um mercado potencial de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos em vista de seu crescimento econômico e da representatividade do mercado consumidor, o que torna obrigatória a estruturação adequada para gestão cadeia reversa de REEE em termos de EC, e ao favorecimento de questões ambientais, econômicas e sociais.

Neste mesmo cenário, destaca-se a PNRS (Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010) e o (Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de REEE) assinado em 31 de outubro de 2019, os quais preconizam a obrigatoriedade da responsabilidade compartilhada nas atividades da cadeia reversa de REEE, além da implementação e gestão de sistemas logísticos que possam promover controles ambientais, ganhos econômicos e benefícios à sociedade, justificando-se o direcionamento de estudos científicos neste segmento de mercado e sua relação com a EC.

Consonante ao explanado, encontram-se as diretrizes preconizadas pela EPRS (2017), as quais preceituam a necessidade da gestão de resíduos no contexto da transição da “Economia Linear” para a EC, de modo que os desafios estão relacionados a ultrapassarem as barreiras dos desperdícios de recursos, gerando-se ganhos ambientais, econômicos e sociais. Com isso, denota-se a necessidade de elevados níveis de cooperação entre estudos científicos, às indústrias e a cadeia reversa de REEE na busca por modelos e estruturas de negócios que possam favorecer a EC.

#### 1.4. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A identificação da configuração mais adequada para a cadeia reversa de REEE responsável por promover a EC, bem como a avaliação do “grau de importância” das práticas favoráveis à EC e o “grau de importância” dos *Players* (Fabricante, Gestora,

Recicladora) podem ser extensíveis à escala de magnitude global. No entanto, delimita-se o presente trabalho científico a avaliar especificamente o Brasil.

De acordo com Baldé *et al.* (2017), seguindo as diretrizes desenvolvidas pela "*Partnership on Measuring ICT for Development*", as quais representam uma visão mais abrangente das estatísticas globais do lixo eletrônico, o Brasil é considerado o segundo maior país gerador de resíduo eletroeletrônico de todo o continente americano. Com isso, denota-se a importância da delimitação da pesquisa na atual realidade brasileira.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor compreensão da condução dos assuntos abordados no presente estudo, esse trabalho científico encontra-se dividido em seis capítulos, sendo eles:

O primeiro capítulo é introdutório, onde são contextualizados os assuntos pertinentes ao tema, de forma a embasar os principais conceitos para a compreensão do trabalho proposto. Além disso, nesta seção apresenta-se o problema de pesquisa, os objetivos, as justificativas, e a delimitação do estudo.

O segundo capítulo envolve a revisão bibliométrica e sistemática da literatura, apresentando as publicações científicas sobre o tema na busca por lacunas de pesquisa. O conteúdo desse capítulo proporcionou a base teórica para a elaboração da problematização da pesquisa e seus respectivos objetivos.

O terceiro capítulo é de caráter metodológico, procurando esclarecer o método, as estratégias de abordagem, as questões técnicas da pesquisa e o detalhamento estruturado do estudo científico.

O quarto capítulo, refere-se à apresentação dos resultados por meio da análise de especialistas e aplicação do *Survey*.

O quinto capítulo, refere-se à discussão e análise dos resultados.

O sexto capítulo, refere-se à conclusão da Tese, com suas respectivas considerações finais, além de sugestões para pesquisas futuras que possam vir agregar valores em relação à continuidade do presente estudo científico.

## 2. REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Nesta seção apresenta-se a revisão bibliométrica da literatura científica sobre gestão de REEE, a qual se encontra relacionada à EC, a descrição e o detalhamento da revisão sistemática direcionada aos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora), além do desenvolvimento da estrutura conceitual do presente estudo científico.

### 2.1. PROCEDIMENTOS E PROTOCOLO UTILIZADOS NA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA CIENTÍFICA

Neste estudo, foram utilizadas análises bibliométricas e revisões sistemáticas da literatura para avaliar as pesquisas científicas sobre a gestão de REEE com embasamento nos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) para fins de promover a EC. Além disso, nessas publicações procurou-se identificar as práticas favoráveis à EC, responsáveis por influenciar a cadeia reversa de REEE a promover a EC, o direcionamento dos materiais reciclados e a aplicação dos '4Rs' da EC. A análise bibliométrica ajuda a identificar perfis de várias publicações usando dados quantitativos e elaboração de gráficos (PRITCHARD, 1969), enquanto revisões sistemáticas ajudam a desenvolver análises de conteúdo com o intuito de codificar e categorizar dados (BARDIN, 1986).

O protocolo de revisão sistemática adotado neste trabalho consiste de um método replicável, denominado de método PRISMA, o qual consiste de uma sequência de passos, por meio de um diagrama de fluxo, distribuído entre as fases de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, além das justificativas para exclusões e apresentação das bases de dados pesquisadas (MOHER *et al.*, 2009). Conforme as informações detalhadas na seção "Metodologia", trinta e três publicações científicas foram validadas, as quais retratam as atividades de gestão da cadeia reversa de REEE para fins de promover a EC, de modo que as mesmas foram utilizadas para a fundamentação teórica do presente trabalho científico.

### 2.2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E O EMBASAMENTO TEÓRICO DA LITERATURA CIENTÍFICA

De acordo com a análise da evolução temporal das trinta e três publicações científicas que abordam a EC e a gestão de REEE, as quais foram utilizadas para a

fundamentação teórica do presente estudo, a Figura 1 apresenta o número de artigos científicos relacionados a cada período.

As primeiras publicações, iniciadas em 2010, mantiveram a mesma linearidade no ano de 2012, retratando a importância de políticas ambientais e legislativas, utilizando-as como referencial para a implementação de estratégias de melhoria das cadeias reversas de reciclagem e a realização do mapeamento das atividades de REEE em termos de unidades recicladoras, centros de coleta e transportes logísticos.

Entre os anos de 2013 até 2017, denota-se algumas oscilações no número de publicações, convergindo com estudos relacionados a regulamentações de REEE, tratamento e reciclagem, simulações para centrais de reciclagem e centros de coleta, otimização do transporte logístico, setores formais e informais, operadores logísticos terceirizados, materiais preciosos e substâncias perigosas.

Esse cenário apresentado, encontra-se de acordo com os autores Das e Chowdhury (2012), os quais relatam que, a partir de 2010 houve uma tendência de estudos envolvidos com o planejamento da cadeia reversa de resíduos, devido a iniciativas para o cumprimento de regulamentações e legislações ambientais, a nível mundial.

A partir de 2017, destaca-se respectivamente o crescimento linear no número de publicações de REEE até 2019, com algumas oscilações posteriores nos anos posteriores, intensificando as abordagens direcionadas ao tratamento e reciclagem, remanufatura, varejistas, gestão de empresas terceirizadas, participação efetiva do consumidor na cadeia reversa, além de pesquisas com maior ênfase na recuperação de metais preciosos e a mitigação de riscos envolvidos com substâncias perigosas contidas nos resíduos eletroeletrônicos. Este crescimento linear mais consistente em termos de publicações científicas a partir de 2017, encontra-se consonante com as diretrizes preconizadas pela EPRS "*European Parliamentary Research Service*".

Dentre essas diretrizes, a EPRS preceitua a gestão de resíduos no contexto da transição da EC, onde os desafios estão relacionados a ultrapassarem as barreiras dos desperdícios de recursos. Para este fim, planejamentos de reestruturação da cadeia reversa de resíduos são necessários para a alta qualidade da reciclagem e reutilização dos resíduos. Para isso, são necessários elevados níveis de cooperação entre as indústrias de resíduos e os atores da cadeia reversa para novos modelos de negócios. Nessa abordagem, inclui-se a valorização da matéria-prima secundária e a redução do impacto ambiental, bem como a efetivação de benefícios sociais. O estado atual do desenvolvimento de regulamentações e políticas vigentes, apresenta

tendências de progresso que alavancam a EC, servindo de exemplo para que as nações procurem adotá-las (EPRS, 2017).

Figura 1 – Número de Artigos Científicos Publicados por Ano



Fonte: O autor

No contexto das treze práticas distribuídas entre o portfólio das trinta e três publicações científicas sobre REEE e EC, os Quadros 1a e 1b apresentam as bases teóricas sobre EC e suas respectivas definições, as quais são responsáveis por exercer influência na gestão de resíduos, sendo as mesmas caracterizadas como “práticas favoráveis à EC”:

Em termos de embasamento teórico relativo à Agenda 2030 da ONU com as finalidades direcionadas à gestão de resíduos, sete práticas favoráveis à EC (identificados na literatura) encontram-se relacionadas a essa base teórica. Com relação à prática “Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE”, um dos propósitos da Agenda 2030 é designado a promover legislações e políticas, orientadas para desenvolvimentos sustentáveis, que apoiem atividades geradoras de ganhos ambientais, econômicos e sociais, convergindo-se com a EC. Para a prática “Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE”, a Agenda 2030 ressalta o desenvolvimento de meios, infraestruturas e estratégias inovadoras para o tratamento de resíduos a fim de promover a industrialização sustentável embasada na EC. Com relação à prática “Recuperação de Metais Preciosos do REEE”, a Agenda 2030 enfatiza a necessidade da modernização, em termos de infraestrutura industrial, a fim

de promover atividades sustentáveis e eficientes por meio da adoção de tecnologias eficazes para a recuperação da maior quantidade possível dos recursos materiais, favorecendo a EC. Referente às práticas (Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE; Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE), a Agenda 2030 destaca o desenvolvimento de estudos e aplicações de ferramentas de otimização que auxiliem a circularidade material, as quais são consideradas benéficas e complementares à EC, buscando-se promover o reaproveitamento de resíduos. Para a prática “Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE”, a Agenda 2030 recomenda a necessidade da integração do setor informal à cadeia reversa, buscando a legalização e capacitação do mesmo junto ao sistema de gestão de resíduos, criando-se estratégias para a melhoria da EC (UN, 2015).

No que se refere ao embasamento teórico relativo aos ‘4Rs da EC’ e as práticas favoráveis à EC para a gestão de resíduos, destacaram-se (Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE; Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) do REEE). Em específico à “Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE”, no (‘R’ Reduzir) dos ‘4Rs da EC’, é recomendado a aplicação de estratégias de práticas de redução ou eliminação de substâncias tóxicas aplicadas a produtos ou materiais, desde a concepção do produto, até o reaproveitamento do material pós-consumo a fim de promover a EC. Em relação à “Adoção de Estratégias de Remanufatura de REEE”, no (‘R’ Remanufatura) dos ‘4Rs da EC’, ressalta-se as estratégias de recuperação e recirculação de peças e componentes, a produção de novos produtos por meio do uso de peças descartadas e a criação de módulos por meio do uso de peças reconcondicionadas com o objetivo de promover a EC. Para a prática relacionada à “Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE”, no (‘R’ Reuso) dos ‘4Rs da EC’, enfatiza-se a conscientização do consumidor para o prolongamento da vida útil do produto, de modo que este possa ser reutilizado por um prazo maior, antes de ser direcionado à cadeia reversa, mitigando a geração de resíduos, o que converge com a EC em termos vantagens ambientais e também de valorização intrínseca ao produto (BLOMSMA *et al.*, 2019).

No que diz respeito ao embasamento teórico vinculado à Fundação Ellen MacArthur, seu respectivo ‘Bloco’ denominado “Ciclo Reverso de Estímulo à EC” encontra-se relacionado às três últimas práticas da EC (Inserção de Varejistas na

Cadeia Reversa de REEE; Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE; Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE). Nesse modelo teórico, recomenda-se o envolvimento de colaboradores (empresas varejistas) como estratégia para a coleta eficiente dos resíduos com o intuito de efetivar a EC e a circularidade material do produto em fim de vida na cadeia reversa. Relativo à gestão de empresas terceirizadas de reciclagem e a inserção de operadores logísticos terceirizados na cadeia reversa, salienta-se que parcerias e estratégias de incorporação dessas empresas no sistema de logística reversa são responsáveis por otimizar e viabilizar a EC (EMF, 2015).

Nesse mesmo contexto das práticas favoráveis à EC, as diretivas europeias e suas respectivas legislações de REEE são consideradas como fatores contribuintes a promoverem a EC, as quais são responsáveis por definir metas de retorno do lixo eletrônico e efetivar a cadeia reversa nos países do continente europeu. Além disso, na Europa, a participação efetiva do consumidor final na cadeia de REEE também é considerada como uma das práticas que influencia positivamente o retorno do REEE, sendo um elo essencial entre a coleta do lixo eletrônico e a cadeia reversa para promover a EC. Para a empresa varejista inserida na cadeia de REEE, a mesma é destacada como uma das práticas oportunas ao ciclo reverso do REEE, a fim de desempenhar a transição da Economia Linear para a EC, dado a importância do seu papel na cadeia reversa (BRESSANELLI *et al.*, 2020).

No estudo de Anandh *et al.* (2021), a prática vinculada à adoção de estratégias de remanufatura de REEE é relacionada como uma das melhores opções para o eletroeletrônico em fim de vida, contribuindo com a mitigação de impactos ambientais e com a geração de benefícios socioeconômicos para promover a EC. Além disso, nessa mesma pesquisa científica, a adoção de estratégias de remanufatura de REEE é destacada como uma prática essencial para a EC, devolvendo ao EEE, novas condições operacionais e a melhoria da circularidade material, o que contribui com a mitigação de impactos ambientais e com ganhos econômicos à cadeia reversa. Na pesquisa de Shittu, Willians e Shaw (2021), as práticas relacionadas à implementação de legislações e diretivas de REEE, as quais se encontram vinculadas à UE com base na Responsabilidade Estendida do Produtor (REP), são consideradas como práticas essenciais para a EC, a fim promover estratégias de retorno e tratamento do lixo eletrônico, obrigando os atores da cadeia reversa darem destinação ambientalmente adequada para esse tipo de resíduo. Ademais, a estratégia de práticas de remanufatura do REEE é considerada um fator essencial para a EC, devolvendo ao

EEE, condições operacionais e a circularidade material. Para Isernia *et al.* (2019), a implementação de práticas vinculadas a regulamentações federais de REEE com abrangência em largas escalas territoriais são mais favoráveis a promoverem a EC na UE. No Brasil, Neto, Correia e Schroeder (2017) ressaltam que as implementações relacionadas a legislações e regulamentações nacionais de REEE como a PNRS e o Acordo Setorial, são práticas que contribuem com a EC, promovendo melhorias na circularidade material e o retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa. No Reino Unido, Bridgens *et al.* (2019) destacam que as aplicações práticas no âmbito de legislações e regulamentações de REEE são consideradas importantes para a EC, a fim de alavancar a circularidade material e a reciclagem do lixo eletrônico nesta região. Outras publicações científicas destacam que as legislações e regulamentações governamentais vigentes de REEE são essenciais para promoverem a EC, as quais maximizam o retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa, criando-se contribuições consideráveis à EC (SHI *et al.*, 2019; KUMAR; DIXIT, 2019; KILIK *et al.*, 2015; ACHILLAS *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2016; LEVANEN *et al.*, 2018; HAGELUKEN *et al.*, 2016).

Em termos de práticas vinculadas à adoção de estratégias inovadoras de reciclagem de REEE e a reutilização da matéria-prima secundária em ciclo fechado na cadeia reversa, essas implementações contribuem com a efetividade da EC, potencializando a circularidade material (WAGNER *et al.*, 2019a, WAGNER *et al.*, 2019b, LEVANEN *et al.*, 2018; NETO; CORREIA; SCHROEDER, 2017; PARAJULY; WENZEL, 2017; HAGELUKEN *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2013). Para a prática relacionada à recuperação de metais preciosos, por meio da reciclagem do REEE em ciclo fechado, a adoção dessa prática é contribuinte com a EC, potencializando o retorno da matéria-prima secundária de maior valor agregado à cadeia reversa e ao mercado de consumo (MATARAZZO *et al.*, 2019; BRIDGENS *et al.*, 2019; LEVANEN *et al.*, 2018; NETO; CORREIA; SCHROEDER, 2017; HAGELUKEN *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2013).

Para o desenvolvimento de práticas vinculadas a simulações de estruturação de centros de reciclagem de REEE na cadeia reversa, as mesmas se encontram fortemente relacionadas à criação de melhorias à EC, otimizando e possibilitando a circularidade material para o máximo reaproveitamento dos resíduos (ARAS *et al.*, 2015; KILIC *et al.*, 2015; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; ACHILLAS *et al.*, 2010a). Especificamente à estruturação otimizada, por meio de práticas de simulações de centrais de coleta de REEE com o intuito de promover a

EC, as mesmas são responsáveis por criarem oportunidades para a maximização da circularidade material e o retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa (KUMAR *et al.*, 2019; ALVES; FARINA 2018; PARAJULY; ACHILLAS *et al.*, 2012; WENZEL, 2017). Para as práticas de simulações voltadas à otimização do sistema de transporte logístico de REEE, Achillas *et al.*, (2012) ressaltam que, em termos de efetividade da EC, essas simulações podem contribuir com consideráveis melhorias na circularidade material do lixo eletrônico em ciclo fechado, servindo como uma ferramenta estratégica de apoio à cadeia reversa de REEE.

Em relação ao desenvolvimento de práticas relacionadas à redução ou eliminação de substâncias perigosas de REEE com o intuito de favorecer a EC, as mesmas se encontram diretamente relacionadas à estruturação adequada da cadeia reversa em ciclo fechado, a qual potencializa o fluxo reverso, a reciclagem e a destinação ambientalmente correta dos resíduos, critérios favoráveis e contribuintes com a mitigação de substâncias nocivas ao meio ambiente (SHI *et al.*, 2019; ISERNIA *et al.*, 2019; ANDRÉ *et al.*, 2019). Em específico à adoção de estratégias de redução do setor informal de REEE, a falta de controle sobre os setores informais promove riscos à EC, com isso, elaborações de práticas vinculadas a estratégias de redução desse setor são necessárias de serem implementadas (CORDOVA-PIZARRO *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2016; LIU, *et al.*, 2016). No que se refere à adoção de estratégias de remanufatura de REEE, esta prática é favorável à EC, criando condições de melhoria da circularidade material do EEE em fim de vida, além do reaproveitamento dos resíduos para a produção de novos equipamentos, denominados produtos secundários (ALVES; FARINA, 2018; CORDOVA-PIZARRO *et al.*, 2019).

Para Wang *et al.* (2018), especificamente às práticas de inserção de varejistas na cadeia reversa de REEE, as mesmas são essenciais para promover a EC, as quais aumentam a circularidade material em ciclo fechado do eletroeletrônico em fim de vida, proporcionando a efetividade da EC. Em termos específicos à prática de gestão de empresas terceirizadas de reciclagem de REEE, Agrawal *et al.* (2018) destacam que as empresas terceirizadas de reciclagem de REEE que demonstram condições de expansão de seus serviços em largas escalas territoriais, são consideradas de extrema importância para a viabilização e promoção da EC. Com relação à prática de inserção de operadores logísticos terceirizados na cadeia reversa de REEE, Sabtu *et al.* (2015) ressaltam que a mesma se encontra favorável à EC, no sentido de dinamizar o fluxo reverso e a circularidade material do lixo eletrônico aos canais de reciclagem e ao mercado consumidor.

Quadro 1a – (Embasamento Teórico das Práticas Favoráveis à EC)

Práticas Favoráveis à EC	Conceitos	Autoria (Base Teórica)
[P1] – Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A Agenda 2030 da ONU, com a finalidade direcionada à gestão de resíduos e o intuito de promover a EC, preconiza e incentiva a aplicação prática de legislações e políticas orientadas para o desenvolvimento sustentável que apoiem atividades geradoras de ganhos ambientais, econômicos e sociais, convergentes com a circularidade material.</li> <li>• As legislações e as diretivas de REEE vinculadas à UE com base na Responsabilidade Estendida do Produtor são consideradas como práticas essenciais para a EC, a fim promover estratégias de retorno e tratamento do lixo eletrônico, obrigando os atores da cadeia reversa darem destinação ambientalmente adequada para esse tipo de resíduo.</li> <li>• As diretivas europeias relacionadas às políticas e legislações de REEE são contribuintes e favoráveis a promoverem a EC, as quais são responsáveis para definir metas de retorno do lixo eletrônico e efetivar a cadeia reversa nos países do continente europeu.</li> <li>• A implementação de práticas vinculadas a regulamentações e legislações federais de REEE com abrangência em largas escalas territoriais são mais favoráveis a promoverem a EC na União Europeia.</li> <li>• As práticas relacionadas a legislações e regulamentações governamentais vigentes de REEE são essenciais para promoverem a EC, as quais maximizam o retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa.</li> <li>• As legislações e regulamentações nacionais de REEE como a PNRS e o Acordo Setorial no Brasil são práticas que contribuem com a EC, promovendo melhorias na circularidade material e o retorno do REEE à cadeia reversa.</li> <li>- A priorização de práticas governamentais vinculadas a legislações e regulamentações de REEE na Índia contribuem com a efetividade da EC, melhorando as capacidades operacionais da cadeia reversa e a consequente melhoria no volume de reciclagem do lixo eletrônico no país.</li> <li>• Aplicações práticas no âmbito de legislações e regulamentações de REEE são consideradas importantes para promoverem a EC, a fim de alavancar a circularidade material e a reciclagem do lixo eletrônico no Reino Unido.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>(Shittu; Williams; Shaw, 2021)</p> <p>(Bressanelli et al., 2020)</p> <p>(Isernia et al., 2019)</p> <p>Shi et al. (2019); Achillas, et al. (2012); Kumar and Dixit (2019); Achillas, et al. (2010a); Aras et al. (2015); Kılıç et al. (2015); Souza et al. (2016); Levanen et al. (2018); Hagehluken et al. (2016); Assavapokee e Wongthatsaneorn (2012)</p> <p>(Neto; Correia; Schroeder, 2017)</p> <p>(Kumar; Dixit, 2019)</p> <p>(Bridgens et al., 2019)</p>
[P2] – Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agenda 2030 da ONU, com a finalidade direcionada à gestão de resíduos para promover a EC, preconiza e busca incentivar o desenvolvimento de práticas relacionadas a estratégias inovadoras de reciclagem ao tratamento de resíduos, a fim de promover a industrialização sustentável embasada na EC.</li> <li>• Convergente com a teoria dos "4Rs da EC", a prática de reciclar o REEE por meio de estratégias inovadoras de reciclagem na cadeia reversa, é potencialmente favorável a promover a EC como critério responsável por mitigar a extração da matéria-prima virgem da natureza e aumentar a circularidade material da matéria-prima secundária.</li> <li>• A prática vinculada à adoção de estratégias inovadoras de reciclagem de REEE e a reutilização da matéria-prima secundária em ciclo fechado na cadeia reversa contribui com a efetividade da EC, potencializando a circularidade material.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>(Shittu; Williams; Shaw, 2021)</p> <p>Wagner et al. (2019a); Wagner et al. (2019b); Parajuly and Wenzel (2017); Neto, Correia e Schroeder (2017); Song et al. (2013); Levanen et al. (2018); Hagehluken et al. (2016)</p>
[P3] – Recuperação de Metais Preciosos do REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agenda 2030 da ONU, com a finalidade da gestão de resíduos vinculada à EC, preconiza a necessidade de modernizar a infraestrutura industrial para promover atividades sustentáveis e eficientes por meio da adoção de tecnologias eficazes para a recuperação da maior quantidade possível dos recursos materiais secundários, favorecendo circularidade material e a EC.</li> <li>• A adoção de práticas embasadas na recuperação de metais preciosos por meio da reciclagem do REEE em ciclo fechado contribui com a EC, potencializando o retorno da matéria-prima secundária de maior valor agregado à cadeia reversa e ao mercado de consumo.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>Song et al. (2013); Levanen et al. (2018); Matarazzo et al. (2019); Bridgens et al. (2019); Neto; Correia; Schroeder, 2017); Hagehluken et al. (2016)</p>
[P4] – Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A Agenda 2030 da ONU, com o propósito de contribuir com a EC (embasada na adequada gestão, reciclagem e o reaproveitamento da matéria-prima secundária), incentiva o desenvolvimento de aplicações práticas e simulações que auxiliem a circularidade material e a otimização da cadeia reversa, práticas que são consideradas complementares à EC.</li> <li>• O desenvolvimento de práticas vinculadas a simulações para a estruturação de centrais de reciclagem de REEE na cadeia reversa, encontra-se fortemente relacionado à melhoria da EC, otimizando a circularidade material para o máximo reaproveitamento dos resíduos.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>Achillas, et al. (2010a); Aras et al. (2015); Kılıç et al. (2015); Assavapokee e Wongthatsaneorn (2012);</p>
[P5] – Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No âmbito da utilização dos recursos secundários, a Agenda 2030 e os ODS têm como propósito a melhoria da circularidade material intrínseca à EC, visando o reaproveitamento máximo dos resíduos. Diante disso, o desenvolvimento de estudos e aplicações práticas de ferramentas e simulações que auxiliem o fluxo reverso e a coleta dos resíduos, são consideradas benéficas e complementares à EC.</li> <li>• A estruturação otimizada por meio de práticas de simulação de centrais de coleta de REEE, contribui com a EC, maximizando a circularidade material e o retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>Achillas, et al. (2012); Kumar e Dixit (2019); Alves e Farina (2018); Parajuly e Wenzel (2017)</p>
[P6] – Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contexto dos "4Rs da EC", com o 'R' Reduzir, destaca-se a prática de redução ou eliminação de substâncias tóxicas aplicadas a produtos ou matérias, desde a concepção do projeto do produto ao reaproveitamento do material (pós-consumo) com o objetivo de promover a EC.</li> <li>• Com o intuito de promover a EC, a estratégia de práticas de redução de substâncias perigosas de REEE, encontra-se diretamente relacionada à estruturação adequada (em ciclo fechado) da cadeia reversa, potencializando-se o fluxo de coleta, reciclagem e a destinação ambientalmente correta dos resíduos.</li> </ul>	<p>(Blomsma et al., 2019)</p> <p>Shi et al. (2019); Isernia et al. (2019); André et al. (2019)</p>

Quadro 1b – (Embasamento Teórico das Práticas Favoráveis à EC)

Práticas Favoráveis à EC	Conceitos	Autoria (Base Teórica)
[P7] – Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com a finalidade direcionada à gestão de resíduos e das práticas favoráveis à EC, a Agenda 2030 da ONU preconiza a necessidade da criação de meios de integração do setor informal na cadeia reversa, legalizando-o, capacitando-o e transformando-o em um agente contribuinte para ampliar a circularidade material e efetivar a EC.</li> <li>Uma atenção especial deve ser dada às práticas relacionadas a estratégias de redução do setor informal de REEE para promover a EC entre os países em desenvolvimento.</li> <li>No segmento de REEE, a falta de controle sobre os setores informais promove riscos à EC, com isso, elaborações de práticas vinculadas a estratégias de redução desse setor são necessárias de serem implementadas.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>(Bressanelli et al., 2020)</p> <p>Liu et al. (2016); Souza et al. (2016); Cordova-Pizarro et al. (2019);</p>
[P8] – Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) do REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Embasado na teoria dos '4Rs da EC', infere-se à prática 'R' Remanufatura, as estratégias de recuperação e recirculação de peças e componentes, a produção de novos produtos por meio de peças descartadas, a criação de novos módulos por meio do uso de peças recondiçionadas para fins de promover a EC.</li> <li>A estratégia de práticas de remanufatura de REEE, a qual se encontra vinculada à teoria dos '4Rs da EC', é considerada essencial para a EC, devolvendo ao EEE condições operacionais e a circularidade material ao resíduo que seria descartado.</li> <li>A adoção de estratégias de práticas de remanufatura é considerada uma das melhores opções para o fim de vida do REEE em termos de mitigação de impactos ambientais e benefícios socioeconômicos para promover a EC.</li> <li>O desenvolvimento estratégico de práticas de remanufatura de REEE, é favorável à EC, melhorando a circularidade material do EEE em fim de vida e o reaproveitamento dos resíduos para a produção de novos equipamentos (produtos secundários).</li> </ul>	<p>(Blomsma et al., 2019)</p> <p>(Bressanelli et al., 2020)</p> <p>(Anandh et al., 2021)</p> <p>Alves e Farina (2018); Cordova-Pizarro et al. (2019)</p>
[P9] – Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baseado no "Ciclo Reverso de Estímulo à EC da Fundação Ellen MacArthur", a prática relacionada à inserção de empresas varejistas (colaboradores) na cadeia reversa é considerada uma estratégia favorável à EC com o intuito de melhorar o fluxo reverso dos resíduos.</li> <li>Considera-se a inclusão da empresa varejista na cadeia de REEE como uma das práticas favoráveis ao ciclo reverso do lixo eletrônico, a fim de colaborar com efetividade da transição da Economia Linear para a EC neste segmento, dado a importância do seu papel na cadeia reversa.</li> <li>Práticas de inserção de varejistas para o fluxo reverso do REEE e regulamentações das mesmas a fim de inseri-las na cadeia reversa, são essenciais para colaborar com a EC, aumentando-se circularidade material em ciclo fechado do eletroeletrônico em fim de vida.</li> </ul>	<p>(EMF, 2015)</p> <p>(Bressanelli et al., 2020)</p> <p>(Wang et al., 2018)</p>
[P10] – Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conforme critérios definidos pelo "Ciclo Reverso de Estímulo à EC da Fundação Ellen MacArthur", práticas vinculadas a estratégias de inserção e gestão de empresas terceirizadas de tratamento e reciclagem na cadeia reversa são favoráveis para otimizar e viabilizar a EC.</li> <li>A gestão de empresas terceirizadas de reciclagem de REEE com condições de expansão de seus serviços em largas escalas territoriais, é considerada uma das práticas de extrema importância para promover a EC.</li> </ul>	<p>(EMF, 2015)</p> <p>(Agrawal et al., 2018)</p>
[P11] – Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Na Agenda 2030 da ONU, práticas vinculadas ao desenvolvimento de estudos e aplicações de ferramentas de simulações que auxiliem o fluxo reverso do resíduo, a circularidade material e a otimização da mesma são consideradas benéficas e complementares a EC.</li> <li>Práticas de simulações voltadas à otimização do transporte logístico de REEE podem contribuir com a EC, maximizando a circularidade material e o retorno do resíduo à cadeia reversa em ciclo fechado.</li> </ul>	<p>(UN, 2015)</p> <p>(Achillas et al., 2012)</p>
[P12] – Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com base no "Ciclo Reverso de Estímulo à EC da Fundação Ellen MacArthur", as práticas relacionadas a parcerias e inserções de operadores logísticos terceirizados na cadeia reversa se configuram como estratégias favoráveis à EC que podem contribuir a circularidade material do resíduo.</li> <li>Práticas de inserção de operadores logísticos terceirizados na cadeia reversa de REEE são favoráveis à EC, pois dinamizam o fluxo reverso e a circularidade material do lixo eletrônico aos canais de reciclagem e ao mercado consumidor.</li> </ul>	<p>(EMF, 2015)</p> <p>(Sabtu et al., 2015)</p>
[P13] – Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE;	<ul style="list-style-type: none"> <li>Na Europa, a participação efetiva do consumidor na cadeia reversa de REEE se configura como uma das práticas que favorece o retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa, sendo um elo essencial para alavancar a circularidade material e promover a EC.</li> <li>A conscientização da participação efetiva do consumidor na cadeia reversa de REEE, é considerada uma das práticas essenciais para promover a EC, aumentando-se o fluxo reverso do REEE e a circularidade material da matéria-prima secundária.</li> </ul>	<p>(Bressanelli et al., 2020)</p> <p>(Isernia et al., 2019)</p>

Em termos de artigos científicos publicados em periódicos, na Figura 2, pode-se verificar que os números mais elevados de publicações se encontram direcionados ao “*Waste Management*”, “*Resource, Conservation and Recycling*”, “*Sustainability (Switzerland)*” e “*Journal of Cleaner Production*”, concentrando-se nestes quatro primeiros periódicos, cerca de 57,6% do total dos artigos relacionados ao presente estudo. Destacam-se nestes quatro primeiros periódicos, a aderência ao contexto da EC, levando-se em consideração o gerenciamento sustentável e o reaproveitamento de recursos em escala regional, nacional ou internacional, dando ênfase a práticas políticas e regulamentações de REEE, além de análises econômicas, sociais e tecnológicas. Os demais periódicos, com escopos mais generalistas e diversificados, obtiveram somente uma publicação cada.

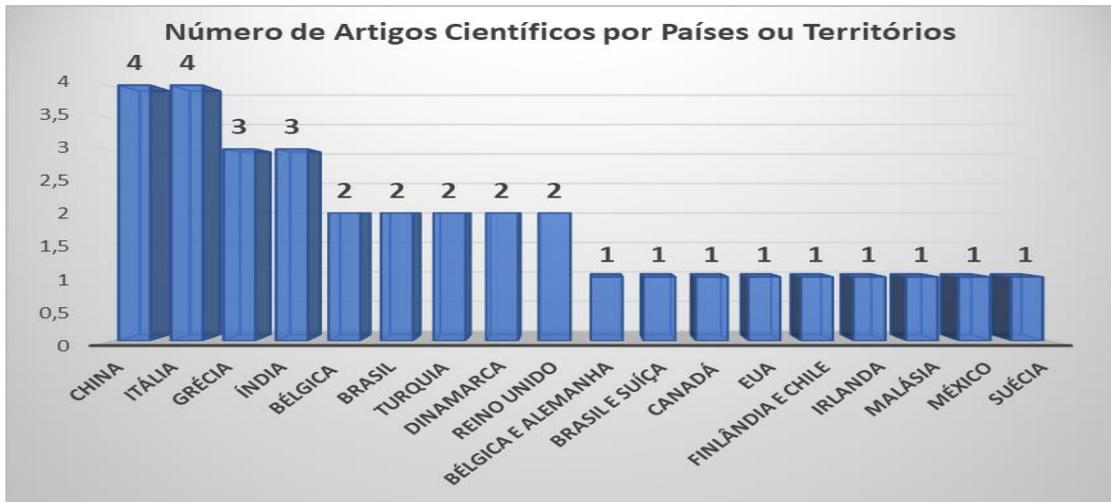
Figura 2 – Número de Artigos Científicos Publicados por Periódicos



Fonte: O autor

A análise da internacionalidade das publicações científicas existentes, conforme apresentado na Figura 3, indica claramente a predominância dos artigos relacionados à (China; Itália; Grécia, Índia, Bélgica, Brasil, Turquia, Dinamarca e Reino Unido). Cerca de 72,7% das publicações encontram-se distribuídas a estes nove primeiros países. Os demais estudos, os quais relacionam (Bélgica e Alemanha; Brasil e Suíça; Canadá; EUA; Finlândia e Chile; Irlanda; Malásia; México; Suécia) apresentam apenas uma publicação cada.

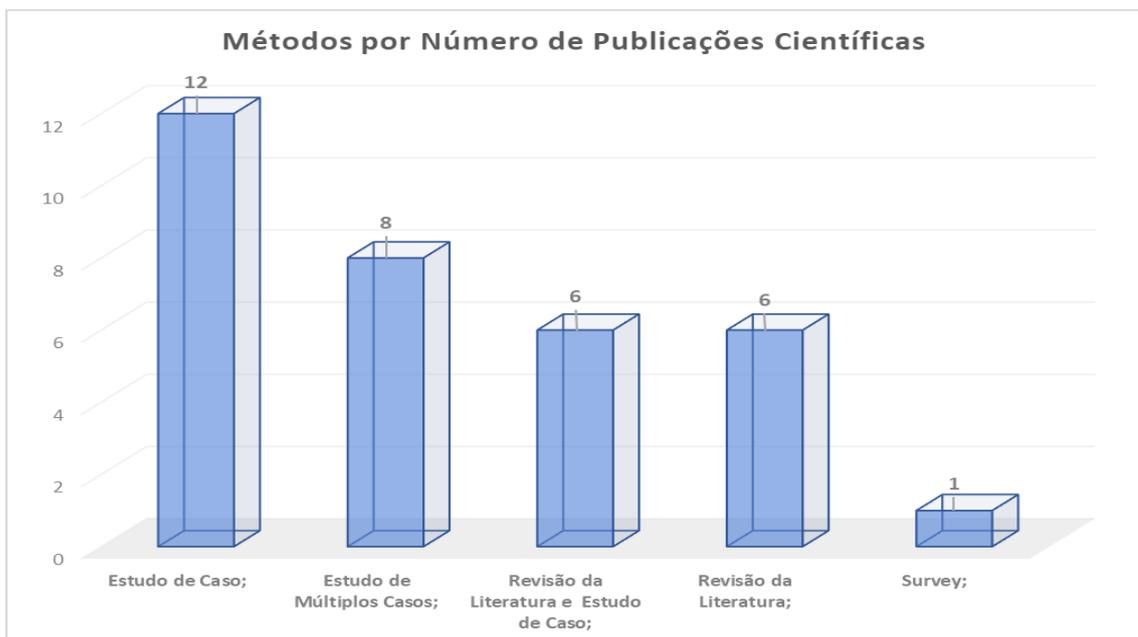
Figura 3 – Número de Artigos Científicos por Países ou Territórios



Fonte: O autor

Conforme apresentado na Figura 4, verifica-se que os métodos de pesquisa encontrados nas publicações científicas do portfólio, em sua maioria se referem a estudos com fundamentações exploratórias (Estudo de Caso; Estudo de Múltiplos Casos; Revisão da Literatura e Estudo de Caso; Revisão da Literatura), representando no portfólio de artigos avaliados, cerca de 96,97%. Para estudos confirmatórios (Método *Survey*), somente uma publicação foi encontrada.

Figura 4 – Métodos por Número de Publicações Científicas



Fonte: O autor

## 2.3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Com a finalidade de estabelecer a revisão sistemática das publicações, realizou-se nesta seção as seguintes subdivisões: Economia Circular e a gestão de resíduos eletroeletrônicos com ênfase na "Fabricante" de EEE; Economia Circular e a gestão de resíduos eletroeletrônicos com ênfase na "Gestora" de REEE; Economia Circular e a gestão de resíduos eletroeletrônicos com ênfase na "Recicladora" de REEE; Definição da Estrutura Conceitual com Base na Revisão da Literatura Científica.

### 2.3.1 Economia Circular e a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos com Ênfase na "Fabricante" de EEE

Kumar e Dixit (2019) desenvolveram um estudo, onde a fabricante de EEE é a responsável pela gestão de resíduos, visando avaliar a seleção de parcerias com unidades recicladoras de REEE e implementações de centrais de coleta na Índia, de modo a promover uma EC de nível meso, mais efetiva e sustentável. Os resultados indicam que os requisitos necessários para a escolha de parcerias devem levar em consideração empresas recicladoras que priorizam a reestruturação e redistribuição de pontos de coletas, a fim de promover reduções de custos com transportes de resíduos e a mitigação de poluentes relacionados a gases de efeito estufa, além de reciclagem a preços mais reduzidos. Outros resultados favoráveis à eficácia da EC foram destacados: As legislações e o governo devem priorizar incentivos e benefícios sobre impostos a recicladores de REEE que integram capacidades de infraestruturas operacionais verdes, a fim de prover melhorias direcionadas a contratações de recursos humanos e a maximização do retorno de resíduos à cadeia reversa.

Neto, Correia e Schroeder (2017) realizaram um estudo entre fabricantes de EEE e centrais de tratamento e reciclagem no Brasil e Suíça, buscando-se analisar a efetividade da EC nos níveis meso e macro, por meio do mapeamento da cadeia reversa de REEE. A gestão de resíduos realizada pela fabricante e as adoções estratégicas de reciclagem, reutilização da matéria-prima secundária e comercialização dos REEEs promoveram ganhos econômicos à cadeia reversa brasileira na ordem de U\$\$ 950.000,00 ao ano, com o percentual de retorno do capital investido de 49,9% e prazo de recuperação do investimento em 2,8 anos. Entretanto, o Brasil não tem a tecnologia necessária para processamento dos metais preciosos, sendo os mesmos direcionados às recicladoras da Suíça, as quais obtiveram um

ganho econômico total, na ordem de U\$\$ 4.355.814,00. Em termos reutilização e reciclagem da matéria-prima secundária, a mensuração total da redução do impacto ambiental nos compartimentos (bióticos, abióticos, água e ar), equivale a 349.791.992 kg de resíduos e poluentes não direcionados à natureza, aos quais convergem ao nível macro da EC. Investimentos em transferências de tecnologias para a recuperação de metais preciosos são necessários para a efetividade de ganhos econômicos no país em desenvolvimento. As regulamentações políticas e o acordo setorial de REEE são avanços para a prática da EC, contribuinte com a redução de impactos ambientais e ganhos econômicos.

### **2.3.2 Economia Circular e a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos com Ênfase na "Gestora" de REEE**

Shi *et al.* (2019), por meio de um estudo direcionado a uma gestora coletiva no Canadá, buscaram realizar simulações multicritério com foco na inserção otimizada de centrais de coletas de REEE, além da avaliação de subcritérios relevantes ao favorecimento da EC de nível meso. As simulações computacionais indicaram configurações favoráveis à inserção de 500 novos pontos de coleta em Vancouver, criando-se parâmetros para a redução de custos e a mitigação de impactos ambientais. Dentre outros resultados favoráveis à EC: A acessibilidade e a distribuição de centros de coletas são fatores necessários à efetividade de retorno do REEE à cadeia reversa. A gestora coletiva desempenha um importante papel entre os órgãos legislativos e os fabricantes para a promoção da reciclagem e a redução de impactos ambientais. As regulamentações vigentes são essenciais para a maximização do retorno do REEE à cadeia reversa. Os investimentos das fabricantes na gestora coletiva de REEE são favoráveis à minimização de custos e a efetividade na implementação de centrais de coletas.

Em um estudo direcionado a uma gestora de REEE na Índia, Agrawal, Singh e Murtaza (2018) avaliaram as principais oportunidades e questões estratégicas para a efetividade da cadeia reversa em termos de gerenciamento de empresas terceirizadas de reciclagem, reutilização e remanufatura para a melhoria da EC de nível meso. Os resultados são convergentes aos seguintes critérios: As regulamentações governamentais de REEE e a gestão adequada de empresas terceirizadas promovem a inserção da matéria-prima reciclada no mercado e a viabiliza a comercialização do

produto remanufaturado, contribuindo com a EC em termos de mitigação de impactos ambientais e a eficiência de ganhos econômicos à cadeia reversa.

Marconi *et al.* (2018) desenvolveram um estudo direcionado à gestora de REEE na Itália, levando-se em consideração a estratégia de gestão por meio da definição de uma plataforma dedicada à cadeia reversa, a fim de favorecer a criação de oportunidades de simbiose industrial para a melhoria da EC de nível meso. Os resultados destacam que a simbiose industrial direcionada aos princípios da EC e a gestão efetiva da gestora, são critérios necessários para a recuperação dos valores materiais contidos na matéria-prima secundária, promovendo o cenário (ganha-ganha) a todos os envolvidos na cadeia reversa em ciclo fechado. Neste cenário, a gestora contribui com um sistema circular de reciclagem mais equilibrado, potencializando ganhos econômicos e a mitigação de impactos ambientais. Além disso, estratégias inovadoras de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária de REEE em ciclo fechado são práticas que contribuem com o reaproveitamento de metais preciosos, dentre outros materiais oriundos do produto eletroeletrônico em fim de vida.

Matarazzo *et al.* (2019) desenvolveram uma estrutura conceitual para avaliação das contribuições em relação à eficácia da EC, direcionada à gestão do lixo eletrônico nas estações de tratamento e reciclagem do REEE na Sicília, Itália. Os resultados são convergentes com a adoção de estratégias de práticas inovadoras de reciclagem da matéria-prima secundária, contribuindo com a recuperação de metais preciosos, além da eficiência na reutilização dos materiais secundários (ferro, alumínio, plástico). Além disso, a gestora contribui com a operacionalização e integração da cadeia reversa de REEE, garantindo o atendimento de regulamentações políticas de REEE em benefício de uma EC de nível meso, mais eficaz. Ao observar o cumprimento de metas de recuperação da matéria-prima secundária do REEE, a gestão adequada é a promotora-chave para a criação de valores à matéria-prima reciclada, obtendo-se uma circularidade material efetiva para ganhos econômicos e redução de impactos ambientais.

Bridgens *et al.* (2019) propuseram uma estrutura conceitual para o gerenciamento do lixo eletrônico com base em uma gestora, por meio do desenvolvimento de um "Sistema Hipotético de Gestão de REEE" direcionado ao Reino Unido. O estudo descreve os desafios enfrentados e as oportunidades identificadas por uma equipe multidisciplinar de pesquisadores, com o propósito de contribuir com a EC de nível meso, na recuperação metais preciosos e a redução dos

impactos ambientais. Os resultados são convergentes às seguintes definições: Iniciativas sociais mais amplas da transição (economia linear para EC) são pouco compreendidas, difíceis de medir e, até o momento, não foram consideradas pelos formuladores de políticas e defensores da EC como a chave para uma transição bem-sucedida; Iniciativas sociais no âmbito de legislações e regulamentações de REEE devem ser consideradas como importante estratégia prática pelos formuladores de políticas ao segmento de REEE; A gestora contribui com um sistema econômico circular de reciclagem mais equilibrado, potencializando ganhos econômicos e ambientais à cadeia reversa de REEE; A implementação de tecnologias e novas estratégias de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária são necessárias e contribuem com a recuperação de metais preciosos.

Relativo ao estudo de Isernia *et al.* (2019), a pesquisa tem o propósito de avaliar até que ponto o sistema de gestão de REEE italiano e suas respectivas legislações e regulamentações são capazes de apoiar as metas definidas pela União Europeia com foco nos sistemas de coleta e reciclagem para uma melhor efetividade da EC de nível meso. Embora o novo objetivo de coleta de REEE tenha sido atingido em 70% das províncias, melhores índices poderiam ter sido alcançados. Com isso, denota-se que a descentralização de regulamentações e legislações de REEE sobre divisões territoriais prejudicam a eficiência da coleta e reciclagem do lixo eletrônico. Além disso, as regulamentações legislativas no âmbito social são necessárias para a conscientização da participação do consumidor final na promoção do retorno do REEE à cadeia reversa. O atendimento de metas pode ser melhorado, quando as organizações (tomadoras de decisão) operacionalizam e integram a cadeia reversa de REEE, o que pode vir a garantir retornos econômicos e ambientais mais consistentes.

### **2.3.3 Economia Circular e a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos com Ênfase na "Recicladora" de REEE**

Liu *et al.* (2016) propuseram um modelo analítico para ajudar o governo chinês no desenvolvimento da regulamentação política de reciclagem de REEE aos setores formais e informais, buscando-se promover melhorias gerenciais que possam contribuir com a EC de nível meso, em termos centrais recicladoras. Os resultados destacam a representatividade do mercado informal, o qual se encontra em vantagem competitiva, delimitando ganhos econômicos ao mercado formal. O processamento

ambientalmente correto, realizado pelo setor formal de reciclagem gera custos elevados quando comparado ao informal. A falta de controle sobre setores informais de reciclagem acarreta riscos de contaminação ao meio ambiente. Com isso, a reestruturação de regulamentações governamentais de REEE e incentivos fiscais são essenciais à melhoria da EC e ao favorecimento competitivo do setor formal em relação ao informal.

Tong *et al.* (2018), analisaram a EC de nível meso, no contexto de possíveis contribuições sobre o gerenciamento dos fluxos de resíduos eletroeletrônicos relacionados aos setores formais e informais para centrais de reciclagem na China, levando-se em consideração implicações políticas e regulamentais, necessárias à melhoria do setor de REEE no país. Constatou-se que, aproximadamente 2/3 dos resíduos eletroeletrônicos reciclados pelo setor formal são adquiridos do setor informal, o que indica a potencialidade deste último para fins de ganhos econômicos e ambientais. Por outro lado, em termos de subsídio do governo, o mercado formal é o segmento que se encontra favorecido financeiramente. Com isso, o planejamento de redistribuição de subsídios do governo, além do alinhamento de regulamentações de REEE e incentivos fiscais, são essenciais à melhoria da EC e ao favorecimento competitivo para os setores de reciclagem (formais e informais).

Em uma abordagem relacionada à EC de nível meso no México, Cordova-Pizarro *et al.* (2019), avaliaram a gestão de centrais de reciclagem (formais e informais) no contexto de fluxos materiais secundários, oriundos de resíduos de telefones celulares. O estudo mostrou que 42% do lixo eletrônico pode ser remanufaturado, entrando do mercado de segunda mão, enquanto, os 58% restantes passam por processos de reciclagem, contribuindo com a redução do impacto ambiental e ganhos econômicos à cadeia reversa. Outros resultados relacionados à EC foram destacados: Os setores informais de reciclagem representam prejuízos à cadeia reversa, delimitando ganhos econômicos ao mercado formal, além de ocasionar menor eficiência à EC. A adoção de estratégias de remanufatura, reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária em ciclo fechado contribuem com a recuperação de metais preciosos e a mitigação de impactos ambientais, práticas favoráveis à circularidade material e a melhoria da EC no segmento de REEE.

Souza *et al.* (2016) avaliaram a EC de nível meso, no contexto de implantações de pontos de coletas e unidades de reciclagem e reutilização da matéria-prima, buscando-se analisar os cenários (formais e informais) no que se refere à gestão de REEE direcionada ao Rio de Janeiro, Brasil. Os resultados do estudo encontram-se

convergentes aos seguintes critérios: Os setores informais de reciclagem representam prejuízos econômicos à cadeia reversa de REEE, delimitando ganhos econômicos ao mercado formal; As regulamentações governamentais vigentes são importantes para a maximização do retorno do REEE à cadeia reversa, gerando-se ganhos econômicos e a redução do impacto ambiental; Localizações ótimas de distribuição de centrais de coleta e centrais de recicladoras contribuem com a EC, aumentando as atividades de reciclagem de REEE e o crescimento de receitas à cadeia reversa.

Buscando-se contribuir com estudos relacionados à EC de nível meso, Song *et al.* (2013) investigaram os processos de tratamento e reciclagem em uma das unidades recicladoras que gerencia o lixo eletrônico na China, além da avaliação dos benefícios oriundos dos recursos secundários reutilizados e a mitigação de potenciais substâncias perigosas. Diante dos resultados apurados, o ferro e o aço constituem cerca de 50% do lixo eletrônico, seguido do plástico (21%,) e metais não ferrosos (13%). Estes últimos, com valores econômicos mais expressivos, consistem de materiais como cobre, alumínio, prata, ouro, platina e paládio. Ao considerar a presença de elementos como chumbo, mercúrio, arsênico, cádmio, selênio e hexavalente), os resultados indicam que o tratamento e reciclagem do lixo eletrônico podem reduzir os impactos ao meio ambiente. Com isso, a adoção de estratégias inovadoras de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária em ciclo fechado contribui circularidade material, a recuperação de metais preciosos e a redução de impactos ambientais., convergindo-se com a melhoria da EC.

Levanen, Lytinen e Gatica (2018) desenvolveram uma estrutura analítica de interações entre atividades de gestão e negócios da EC de nível meso, em diferentes companhias relacionadas a recicladoras de REEE. No Chile, os padrões para reciclagem de baterias são estabelecidos nos regulamentos sanitários para gerenciamento de resíduos perigosos (Decretos Governamentais). Embora, essa legislação seja voltada para a EC a fim de minimizar, reciclar e reutilizar resíduos perigosos, fornece poucas orientações técnicas ou incentivos financeiros sobre como as baterias devem ser recicladas e, portanto, não serve como uma prática facilitadora e reguladora funcional para as ofertas circulares dos recicladores. Na Finlândia, a taxa de eficiência na reciclagem especifica a porcentagem de materiais a serem extraídos das baterias coletadas para fins de reutilização: essa meta é atualmente de 50%. Outros resultados convergem aos seguintes critérios: Para fins de efetividade da EC, adoções de estratégias inovadoras de reciclagem de REEE são essenciais para a recuperação de metais preciosos e a mitigação do direcionamento de substâncias

perigosas ao meio ambiente. As legislações e regulamentações vigentes são importantes para a maximização do retorno do REEE à cadeia reversa, o que promove a obtenção de ganhos econômicos e a redução de impactos ambientais.

Em um estudo direcionado a inovações de tratamento e reciclagem de REEE favoráveis à EC de nível meso na Bélgica, onde a gestão de resíduos é realizada por unidades recicladoras, a pesquisa buscou avaliar as estratégias de recuperação do material plástico e suas respectivas viabilidades técnicas e econômicas. As implementações tecnológicas de novos processos de reciclagem do material plástico indicaram um potencial significativo para retorno econômico, reduzindo a quantidade significativa de resíduos incinerados ou descartados, alavancando a circularidade material. Isso indica, que a implementação de estratégias inovadoras de reciclagem e reutilização do material plástico oriundo do REEE contribui com EC, mostrando que investimentos em tecnologias de reciclagem em ciclo fechado podem reduzir custos e gerar os ganhos econômicos à cadeia reversa (WAGNER *et al.*, 2019a; WAGNER *et al.*, 2019b).

André, Soderman e Nordelof (2019), buscando-se investigar os impactos ambientais e as vantagens econômicas favoráveis à EC de nível meso na Suécia, realizaram um estudo direcionado ao tratamento, reciclagem e remanufatura de computadores laptops em fim de vida, geridos por uma unidade recicladora de REEE. Os resultados indicam que o desenvolvimento estratégico de práticas de remanufatura de REEE promove a EC, reduzindo a geração de poluentes, além do aumento de receitas à cadeia reversa, visto que, 70% dos laptops descartados pelos usuários de primeira mão tiveram a vida útil prolongada por meio das práticas de remanufatura. O percentual restante (30%) é aproveitado para reciclagem de REEE, favorecendo a reutilização de metais preciosos, a geração de receitas à cadeia reversa, e a consequente mitigação de substâncias perigosas. Com isso, a implementação de novas estratégias de reciclagem de REEE, a reutilização da matéria-prima e a remanufatura são práticas corroborativas que contribuem com a efetividade da EC.

Em um estudo direcionado à Bélgica e Alemanha, Hagelucken *et al.* (2016) avaliaram as regulamentações governamentais vigentes a fim de contribuir com a EC de nível meso, no que se refere aos tratamentos e reciclagens geridos por centrais recicladoras de REEE para a recuperação de metais preciosos. Os resultados mostram que as regulamentações aplicadas aos recicladores do lixo eletrônico contribuem para incentivar a adoção de estratégias inovadoras de reciclagem e

reutilização de metais não ferrosos, maximizando os retornos financeiros à cadeia reversa, além de reter os ganhos econômicos (oriundos dos metais preciosos) à UE.

Parajuly e Wenzel (2017), desenvolveram uma estrutura conceitual para avaliação dos critérios necessários à maximização do reaproveitamento do lixo eletrônico às centrais de reciclagem (responsáveis pelo gerenciamento deste tipo de resíduo na Dinamarca). No estudo, levou-se em consideração a análise de recursos de design de produto, bem como avaliações pertinentes a regulamentações governamentais dos produtos eletrônicos em fim de vida. Os resultados indicam que, apesar das regulamentações impulsionarem os investimentos em tecnologia de reciclagem e maximizar os retornos financeiros à cadeia reversa de REEE, as legislações de REEE encontram-se cada vez mais rigorosas, o que induz as empresas fabris de EEE a incluírem em seus projetos o aprimoramento de recursos de design para que se possa evitar perda de materiais nos processos de reciclagem, sendo esta, uma prática impulsionadora para a EC de nível meso.

Em um estudo direcionado a centrais de reciclagem e remanufatura, as quais são responsáveis pela gestão e distribuição de centros de coleta de REEE no Brasil, os autores Alves e Farina (2018) desenvolveram uma “Estrutura Metodológica de Análise das Práticas de Gerenciamento e Remanufatura do REEE” com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de uma EC de nível meso mais sustentável em termos ambientais e econômicos. Os resultados da pesquisa encontram-se convergentes aos seguintes critérios: O desenvolvimento estratégico para a adoção de práticas inovadoras de remanufatura de REEE e a distribuição estratégica de centrais de coleta de REEE, são favoráveis à EC, contribuindo com mitigação de poluentes ao meio ambiente e com o aumento de receitas à cadeia reversa.

Wang *et al.* (2018) investigaram a cadeia reversa de REEE, de modo que as recicladoras terceirizadas e varejistas competem entre si nas atividades de gerenciamento de centros de coletas do lixo eletrônico na China, levando em conta a análise de critérios essenciais para a eficácia da EC de nível meso no país. Os resultados indicam que tanto para as recicladoras como para os varejistas, as legislações e regulamentações de REEE atuais influenciam positivamente as operações de coleta e reciclagem de REEE, reduzindo o risco do direcionamento inadequado dos resíduos ao meio ambiente, o que promove maiores ganhos econômicos para a cadeia reversa. Entretanto, a isenção de penalizações governamentais e incentivos fiscais para a coleta e reciclagem de REEE são

essenciais para a redução de custos, permitindo o retorno do REEE à cadeia reversa, o que pode contribuir efetivamente para a EC.

Sabtu *et al.* (2015) procuraram abordar a EC no âmbito de unidades recicladoras que fazem a gestão do REEE na Malásia, buscando-se identificar o atributo mais relevante no que se refere a parceria com operadores logísticos terceirizados. Os resultados mostram que a adoção e a incorporação de operadores logísticos terceirizados de REEE podem oferecer o aumento nas operações logísticas e a melhoria na distribuição de canais de reciclagem, o que favorece o crescimento de receitas e a redução de custos à cadeia reversa, práticas convergentes com a EC em termos de vantagem econômica.

Buscando-se contribuir com a EC de nível meso, Achillas *et al.* (2012) realizaram um estudo relacionado a unidades recicladoras, responsáveis por implementar e gerir as centrais de coletas de REEE na Macedônia, Grécia. Na pesquisa, realizou-se o mapeamento dos pontos de coletas de REEE, aplicando-se simulações baseadas na programação linear multicritério, a fim de promover um modelo computacional de otimização direcionado ao transporte logístico para reduções de custos com combustíveis fósseis e redução de poluentes. Os resultados indicam que a otimização do transporte logístico de REEE por meio da modelagem computacional entre os pontos de coleta e as centrais de reciclagem podem promover uma economia de 545 mil Euros ao longo de três anos e uma mitigação de 5% de poluentes CO<sub>2</sub> (oriundos dos combustíveis fósseis, contribuindo com as regulamentações governamentais vigentes e com a EC, em termos de maximização do retorno do REEE à cadeia reversa e a redução de impactos ambientais.

Instalações de plantas de tratamento e reciclagem de REEE na Grécia são consideradas um pré-requisito para atender as obrigações legislativas na busca por uma EC mais eficaz no país. Neste contexto, Achillas *et al.* (2010a) propõem um modelo matemático de simulação multicritério para a localização ótima de dois pontos estratégicos para a implantação de recicladoras de REEE. Após o mapeamento das regiões favoráveis às implantações, as simulações indicaram localizações ótimas para as cidades Messolochi e Kavala, constatando-se a possibilidade de uma economia anual de custos para a cadeia reversa de REEE na ordem de 235 mil Euros, além do não direcionamento de resíduos para aterros sanitários. Com isso, os autores salientam que a viabilidade econômica e ambiental da EC de nível meso, encontra-se fortemente relacionada a localizações ótimas para instalações de centrais de

reciclagem de REEE, além da importância das regulamentações governamentais vigentes para este segmento de mercado.

Aras *et al.* (2015) desenvolveram um modelo matemático de simulação multi-período para determinar a localização ideal para instalações de usinas recicladoras de REEE na Turquia, de tal modo, que promova resultados mais eficazes à EC de nível meso, gerando a redução de custos com transportes logísticos, a mitigação de impactos ambientais, além de ganhos econômicos à cadeia reversa. Os resultados indicam que as melhores configurações de localidades ou localizações ótimas para a abertura de instalações de reciclagem de REEE se encontram nas cidades de Ancara, Istambul e Izmir. A pesquisa também relata a importância das diretivas governamentais de REEE vigentes no país para fins de maximização do retorno do lixo eletrônico à cadeia reversa, as quais contribuem com a efetividade da EC.

Achillas *et al.* (2010b) desenvolveram uma pesquisa baseada em um “modelo matemático de programação linear mista” com o propósito de mapear as configurações otimizadas (localizações ótimas) entre estações intermediárias de reciclagem e centros de coletas de REEE na Grécia. As simulações demonstram que as unidades recicladoras de REEE distribuídas estrategicamente em regiões restritas à Macedônia, são as mais favoráveis a contribuir com as reduções de custos no transporte logístico e a diminuição na geração de poluentes fosseis “Dióxido de Carbono” (CO<sub>2</sub>), o que pode favorecer a EC de nível meso. Os autores ainda destacam a importância das diretivas e as regulamentações governamentais de REEE no país, ressaltando-as como essenciais à maximização do retorno do REEE à cadeia reversa e o aumento da circularidade material da matéria-prima secundária.

Com o propósito de contribuir com a EC de nível meso na Turquia, Kilic, Cebeci e Ayhan (2015) desenvolveram um estudo relacionado a usinas recicladoras, as quais são responsáveis pela gestão do REEE no país. Por meio de simulações computacionais embasadas em um modelo de programação linear misto, diferentes localizações da Turquia foram mapeadas a fim de prover as melhores configurações para instalações de usinas recicladoras e centros de coleta de REEE. As simulações indicaram (vinte uma) cidades da Turquia como favoráveis para as distribuições de usinas recicladoras e centrais de coletas, criando a possibilidade de redução de custos com o armazenamento, reciclagem e o transporte logístico do REEE. Os autores ainda destacam que a efetividade da EC depende essencialmente das regulamentações governamentais de REEE para a melhoria da circularidade material e geração de valores aos materiais reciclados, além da mitigação de impactos ambientais.

Assavapokee e Wongthatsanekorn (2012), por meio de um modelo de programação linear misto, realizaram simulações para a escolha dos melhores pontos de instalações (localizações ótimas) de usinas recicladoras de REEE nos Estados Unidos da América (EUA), procurando-se promover uma EC (de nível meso) mais efetiva em termos de ganhos econômicos e ambientais ao país. Dentre o mapeamento de 254 municípios no Texas, os resultados otimizados das simulações indicaram 99 possíveis municípios favoráveis às implantações das usinas recicladoras de REEE. Essas configurações, se adotadas na prática, podem promover ganhos econômicos à cadeia reversa, tais como: a redução de custos logísticos com transporte e armazenamento de resíduos. Com relação aos impactos ambientais e sua relação com a EC, os autores destacam as legislações de REEE no país, visto que, por não existirem leis federais mais abrangentes, boa parte do lixo eletrônico tem como destino final os aterros sanitários no Texas, condições divergentes da EC.

Nos Quadros (2a e 2b) apresenta-se uma síntese das “argumentações assertivas e / ou principais resultados” encontrados no portfólio das trinta e três publicações científicas que se encontram distribuídas entre os *Players* (Fabricante; Gestora; Recicladora). Essas “argumentações assertivas e/ou principais resultados” identificados na literatura científica se encontram convergentes com as práticas favoráveis à EC (Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE; Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE; Recuperação de Metais Preciosos do REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE; Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE; Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE; Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) do REEE; Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE; Gestão de Empresas Terceirizadas de REEE; Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE; Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE; Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE).

Quadro 2a – (Análise Cruzada dos Resultados da Literatura Científica e Autorias)

Players		Síntese	Práticas Favoráveis à EC													Autores	
[p1] - (Fabricante)	[p2] - (Gestora)	[p3] - (Recicladora)	[P1] - Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE;	[P2] - Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE;	[P3] - Recuperação de Metais Preciosos do REEE;	[P4] - Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE;	[P5] - Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE;	[P6] - Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE;	[P7] - Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE;	[P8] - Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Retiro) REEE;	[P9] - Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE;	[P10] - Gestão de Empresas Terciarizadas de Reciclagem de REEE;	[P11] - Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE;	[P12] - Inserção de Operadores Logísticos Terciarizados na Cadeia Reversa de REEE;	[P13] - Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE;		
	X		As regulamentações e legislações federais de REEE com abrangência em largas escalas territoriais são mais favoráveis a promoverem a EC, quando comparadas às legislações de REEE descentralizadas e aplicadas a localidades específicas para reciclagem.	X													Isemia et al., (2019);
X	X	X	As regulamentações governamentais vigentes são importantes para a EC em termos de reciclagem, maximizando o retorno do REEE à cadeia reversa e a redução do impacto ambiental;	X													Shi et al., (2019) [p2]; Achilles, et al., (2012) [p3]; Kumar and Dixit (2019) [p1]; Achilles, et al., (2010a) [p3]; Aras et al., (2015) [p3]; Achilles et al., (2010b) [p3]; Kılıc et al., (2018) [p3]; Souza et al., (2016) [p3]; Levanen et al., (2018) [p3]; Hagehukken et al., (2016) [p3]; Assavapokee and Wongthatsanekom (2012) [p3];
		X	Regulamentações e políticas ambientais vigentes influenciam positivamente a EC na capacidade de coleta e reciclagem de REEE entre varejistas e recicladoras, reduzindo o risco de direcionamento inadequado de resíduos ao meio ambiente;	X							X						Wang et al., (2018);
X		X	Regulamentações políticas e o acordo setorial de REEE em vigência são grandes avanços para a prática organizacional e operacional da EC, contribuindo com a reciclagem e a mitigação de impactos ambientais;	X													Neto, Correia e Schroeder (2017) [p1, p3];
		X	A isenção de penalizações do governo e incentivos fiscais aplicados a varejistas e recicladoras de REEE são primordiais para reduções de custos e o aumento ganhos econômicos por meio da reciclagem no contexto da EC;	X							X						Wang et al., (2018);
X	X	X	As regulamentações governamentais vigentes são importantes para a EC, maximizando o retorno do REEE à cadeia reversa e a obtenção de ganhos econômicos por meio da reciclagem do lixo eletrônico;	X													Shi et al., (2019) [p2]; Kumar and Dixit (2019) [p1]; Achilles, et al., (2010a) [p3]; Aras et al., (2015) [p3]; Achilles et al., (2010b) [p3]; Kılıc et al., (2015) [p3]; Souza et al., (2016) [p3]; Levanen et al., (2018) [p3]; Assavapokee and Wongthatsanekom (2012) [p3];
		X	Regulamentações governamentais de REEE e incentivos fiscais são essenciais à EC, favorecendo a competitividade do setor de reciclagem formal em relação ao setor informal;	X					X								Liu et al., (2016); Tong et al., (2018);
X		X	Regulamentações políticas e o acordo setorial de REEE em vigência são grandes avanços para a prática organizacional e operacional da EC, contribuindo com a reciclagem e a efetividade de ganhos econômicos;	X													Neto, Correia e Schroeder (2017) [p1, p3];
X			A Priorização das legislações de REEE e os incentivos fiscais do governo melhoram as capacidades operacionais das recicladoras, gerando contratações de recursos humanos e maior efetividade à EC;	X													Kumar and Dixit (2019);
	X		Aplicações e contribuições sociais no âmbito de regulamentações políticas e ambientais de reciclagem devem ser consideradas como importante estratégia da EC pelos formuladores de políticas ao segmento de REEE;	X													Bridgens et al., (2019);
X		X	Aplicações e contribuições sociais no âmbito de regulamentações políticas e ambientais de reciclagem para a EC são pouco implementadas no segmento de REEE;	X													Bridgens et al., (2019);
	X		Regulamentações legislativas no âmbito social são necessárias para a conscientização da participação do consumidor final na promoção da EC, a fim de efetivar a reciclagem e o retorno do REEE à cadeia reversa;	X											X		Isemia et al., (2019);
X		X	A adoção de estratégias inovadoras de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária de REEE em ciclo fechado contribui com a redução de impactos ambientais e uma EC mais efetiva;	X													Neto, Correia e Schroeder (2017) [p1, p3]; Song et al., (2013) [p3]; Levanen et al., (2018) [p3]; Hagehukken et al., (2016) [p3];
X		X	A adoção de estratégias inovadoras de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária de REEE em ciclo fechado contribui com o aumento de ganhos econômicos e uma EC mais efetiva;	X													Wagner et al. (2019a) [p3]; Wagner et al. (2019b) [p3]; Parajuly and Wenzel (2017) [p3]; Neto et al. (2017) [p1, p3];
	X	X	Investimentos em tecnologias de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária de REEE em ciclo fechado contribui com o aumento de ganhos econômicos e maior efetividade da EC;	X													Wagner et al., (2019a); Wagner et al., (2019b); Parajuly and Wenzel (2017);
	X	X	A adoção de estratégias inovadoras de reciclagem e reuso da matéria-prima secundária de REEE em ciclo fechado contribui com a recuperação de metais preciosos e melhoria da EC;	X	X												Song et al., (2013) [p3]; Levanen et al., (2018) [p3]; Marconi et al., (2018) [p2]; Matarazzo et al., (2019) [p2]; Bridgens et al., (2019) [p2]; Hagehukken et al., (2016) [p3];
X		X	Investimentos em transferências de tecnologias de reciclagem para a recuperação de metais preciosos de REEE são necessários para a efetividade da EC e a obtenção de ganhos econômicos ao país em desenvolvimento;	X	X												Neto, Correia e Schroeder (2017) [p1, p3];

Quadro 2b – (Análise Cruzada dos Resultados da Literatura Científica e Autorias)

Players		Síntese	Práticas Favoráveis à EC													Autores	
[p1] - (Fabricante)	[p2] - (Gestora)	[p3] - (Recicladora)	[P1] - Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE;	[P2] - Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE;	[P3] - Recuperação de Metais Preciosos do REEE;	[P4] - Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem REEE;	[P5] - Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE;	[P6] - Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE;	[P7] - Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE;	[P8] - Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Reciro) REEE;	[P9] - Inserção de Varçjistas na Cadeia Reversa de REEE;	[P10] - Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE;	[P11] - Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE;	[P12] - Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE;	[P13] - Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE;		
		[ Argumentações Assertivas ] e / ou [ Principais Resultados ]															
		Localizações ótimas de instalações de reciclagem de REEE contribuem com a mitigação de impactos ambientais e a melhoria da EC;		X													Achillas, et al., (2010a); Aras et al., (2015); Kilic et al., (2015)
		A viabilidade econômica da EC é fortemente relacionada à localização ótima de instalações de centrais de reciclagem de REEE;		X													Achillas, et al., (2010a); Aras et al., (2015); Kilic et al., (2015); Assavapokee and Wongthatsanekom (2012);
X		A estruturação otimizada por meio da simulação de centros de coleta e reciclagem de REEE contribui com a EC, promovendo a minimização de poluentes ao meio ambiente;		X	X												Achillas, et al., (2012) [p3]; Kumar and Dixit (2019) [p 1];
		A estratégia de simulação de centrais de coleta de REEE pode promover melhoria da EC e contribuir com a minimização de poluentes ao meio ambiente por meio da reciclagem.		X													Alves and Farina (2018) [r3; r4]; Parajuly and Wenzel (2017) [r1; r4];
	X	A mitigação de substâncias perigosas do REEE e a redução do impacto ambiental, encontram-se diretamente relacionadas com a acessibilidade e a distribuição de pontos de coletas do REEE para fins de promover a EC por meio da reciclagem.						X									Shi et al., (2019); Isernia et al., (2019);
		Localizações ótimas de distribuição de centrais de coleta melhoram a EC, contribuindo com o aumento de reciclagem de REEE e a consequente mitigação de impactos ambientais;		X													Achillas et al., (2010b); Kilic et al., (2015); Souza et al., (2016); Assavapokee and Wongthatsanekom (2012);
X		A estruturação otimizada por meio da simulação de centros de coleta e reciclagem de REEE melhora a EC, promovendo a redução de custos com as atividades LR;		X	X												Achillas, et al., (2012) [p3]; Kumar and Dixit (2019) [p 1];
		Localizações ótimas de distribuição de centrais de coleta contribuem com a EC, aumentando a reciclagem de REEE e o crescimento de receitas à cadeia reversa;		X													Achillas et al., (2010b); Kilic et al., (2015); Souza et al., (2016); Assavapokee and Wongthatsanekom (2012);
		A falta de controle sobre os setores informais de reciclagem promove riscos à EC, o que implica na necessidade de formalização de estratégias do governo e da cadeia reversa de REEE a fim reduzir esse mercado informal e seus impactos ambientais.		X						X							Liu et al., (2016);
		O processamento ambientalmente correto (embasado na EC), o qual é realizado pelo setor formal de reciclagem gera custos elevados quando comparado ao setor informal. Diante disso, evidencia-se a necessidade da elaboração de estratégias, a fim de reduzir o setor informal de REEE e valorizar o mercado formal.		X							X						Liu et al., (2016);
		Os setores informais de reciclagem representam prejuízos econômicos à cadeia reversa, delimitando ganhos econômicos ao mercado formal (embasado na EC). Com isso, planejamentos estratégicos de redução do setor informal são necessários.		X							X						Liu et al., (2016); Souza et al., (2016); Cordova-Pizarro et al., (2019);
		O desenvolvimento estratégico de práticas de remanufatura e reciclagem de REEE, embasadas na EC, promove a minimização de poluentes ao meio ambiente;		X					X								Alves and Farina (2018) [r3; r4]; Cordova-Pizarro et al., (2019) [r3; r4]; André et al., (2019) [r3; r4];
		A implementação estratégica de práticas de remanufatura e reciclagem de REEE, embasadas na EC, promove o aumento de receitas à cadeia reversa;		X													Alves and Farina (2018) [r3; r4]; Cordova-Pizarro et al., (2019) [r3; r4];
	X	A gestão adequada de empresas terceirizadas para a remanufatura de REEE promove a inserção do produto remanufaturado no mercado, obtendo-se ganhos econômicos à cadeia reversa e melhoria da EC;		X							X						Agrawal et al., (2018);
	X	A gestão adequada de empresas terceirizadas para a reciclagem de REEE promove a inserção de matéria-prima secundária no mercado, obtendo-se ganhos econômicos à cadeia reversa e melhoria da EC;		X													Agrawal et al., (2018);
	X	A gestão adequada de empresas terceirizadas de (reciclagem e remanufatura) de REEE promove a inserção de matéria-prima secundária no mercado, obtendo-se a redução de impactos ambientais e melhoria da EC;		X													Agrawal et al., (2018);
	X	Estratégias de otimização para o transporte logístico de REEE contribuem com a redução de custos à cadeia reversa, tornando o mercado mais competitivo e obtendo uma EC mais efetiva para a reciclagem;		X													Achillas, et al., (2012);
	X	A incorporação de operadores logísticos terceirizados na cadeia reversa de REEE aumenta os canais reciclagem, favorecendo a EC para o aumento de receitas e a redução de custos à cadeia reversa;		X													Sabtu et al., (2015);

### 2.3.4 Definição da Estrutura Conceitual com Base na Revisão da Literatura Científica

Neste portfólio de trinta e três artigos científicos, dos quais vinte artigos fazem referência à gestão de REEE com o embasamento em recicladoras, seis artigos relacionados à gestora de REEE e dois artigos direcionados a fabricantes de EEE, verificou-se que os estudos pertinentes às atividades de gestão da cadeia reversa de REEE com base nas Fabricantes (KUMAR E DIXIT, 2009; NETO, CORREIA E SCHROEDER, 2017), nas Gestoras (MATARAZZO *et al.*, 2019; SHI *et al.*, 2019) e nas Recicladoras (ACHILLAS *et al.*, 2012; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; ARAS *et al.*, 2015), todos são favoráveis a promoverem a EC.

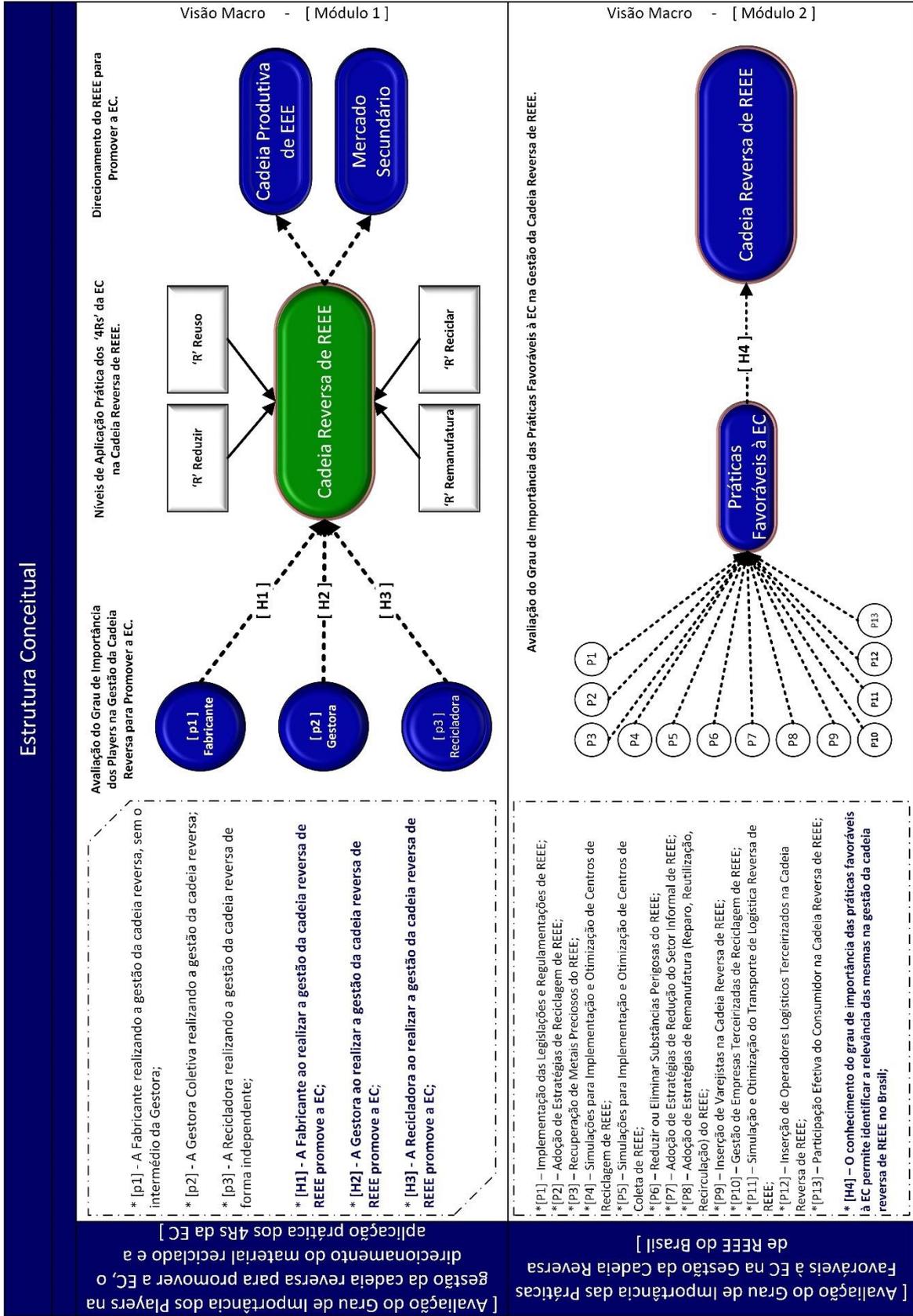
Entretanto, nenhum trabalho científico procurou avaliar entre essas três configurações, qual é a configuração mais adequada a promover a EC no Brasil, o grau de importância de seus respectivos *Players*, o direcionamento do material reciclado, além da aplicação prática dos "4Rs da EC" nessa cadeia reversa, denotando-se a primeira lacuna de pesquisa para a condução do presente estudo científico.

Além disso, neste portfólio de publicações relacionadas à gestão de REEE, pôde-se também identificar que diversas práticas são responsáveis por influenciar a cadeia reversa a promover a EC, tais como: (Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE; Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE; Recuperação de Metais Preciosos do REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE; Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE; Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) do REEE; Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE; Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE; Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE; Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE; Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE). No entanto, nenhum estudo científico procurou avaliar o grau de importância destas práticas favoráveis à EC, no que se refere à gestão da cadeia reversa de REEE, denotando-se a segunda lacuna de pesquisa para a condução do presente estudo científico.

Diante ao exposto, com base na revisão da literatura científica e a identificação das respectivas lacunas de pesquisa, desenvolveu-se a seguinte estrutura conceitual, conforme apresentado na Figura 5. Assim, o módulo 1 da Figura 5 representa a avaliação do grau de importância de cada *Player* (p1, p2, p3) na gestão da cadeia reversa de REEE para promover a EC. O (p1) refere-se à Fabricante de EEE realizando a gestão da cadeia reversa, sem o intermédio da Gestora. O (p2) refere-se à Gestora Coletiva realizando a gestão da cadeia reversa de REEE. O (p3) refere-se à Recicladora realizando a gestão da cadeia reversa de forma independente. Por conseguinte, buscando-se identificar a configuração mais adequada para a gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil que promova a EC, o direcionamento do material reciclado, além da aplicação prática dos "4Rs da EC" nessa cadeia reversa, três hipóteses são apresentadas: (H1) - A Fabricante ao realizar a gestão da cadeia reversa de REEE promove a EC; (H2) - A Gestora ao realizar a gestão da cadeia reversa de REEE promove a EC; (H3) - A Recicladora ao realizar a gestão da cadeia reversa de REEE promove a EC.

O módulo 2 da Figura 5 representa a avaliação do grau de importância das práticas favoráveis à EC. Relativo às treze práticas (embasados na revisão da literatura científica), as quais representam práticas favoráveis à EC, buscou-se avaliar o grau de importância das mesmas para a gestão da cadeia reversa de REEE. Com isso, a seguinte hipótese foi apresentada: (H4) - O conhecimento do grau de importância das práticas favoráveis à EC permite identificar a relevância das mesmas na gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil.

Figura 5 – Estrutura Conceitual (Módulos 1 e 2)



Fonte: O autor

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção, apresenta-se a estrutura metodológica da presente pesquisa, com a finalidade de permitir uma interpretação clara e objetiva dos passos que foram dados, bem como a forma com que foram conduzidos.

#### 3.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na estrutura conceitual do presente estudo, além da pesquisa bibliográfica tradicional apresentada na etapa introdutória, este trabalho também foi conduzido por meio de uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura, além de acesso a dados documentais, tais como, a “PNRS” e o “Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos no Brasil”), criando-se a base teórica para atender os propósitos desta pesquisa, onde os pormenores encontram-se detalhados e estruturados nesta seção.

##### 3.1.1 Revisão Bibliométrica e Sistemática da Literatura Científica

A análise bibliométrica é um estudo que permite produzir diferentes indicadores para o tratamento e gestão da informação na busca por conhecimentos científicos e tecnológicos de uma determinada área. Trata-se de um estudo quantitativo, embasado em tratamentos matemáticos e estatísticos a livros, artigos científicos, dentre outros meios de comunicação (PRITCHARD, 1969).

De acordo com Araújo e Alvarenga (2011), a análise bibliométrica tem uma representação importante na avaliação da produção científica, visto que seus indicadores podem revelar o comportamento de uma determinada área de conhecimento.

Conforme Neely (2005), a análise bibliométrica seguida da sistemática, aplicam respectivamente, técnicas quantitativas e qualitativas no crescente universo de publicações, aumentando-se as possibilidades de conhecimentos científicos trazidos pela informatização, além da análise de conteúdo para que os pesquisadores possam se situar em suas pesquisas de uma forma abrangente e relevante.

Segundo Kitchenham *et al.* (2007) a análise sistemática da literatura tem a capacidade de direcionar a condução dos estudos científicos, criando-se evidências empíricas relacionadas à identificação de lacunas de pesquisas para novas linhas de investigações científicas. Subsequente à análise sistemática, Bardin (1986) ressalta que a análise de conteúdo infere conhecimentos por meio da categorização de dados,

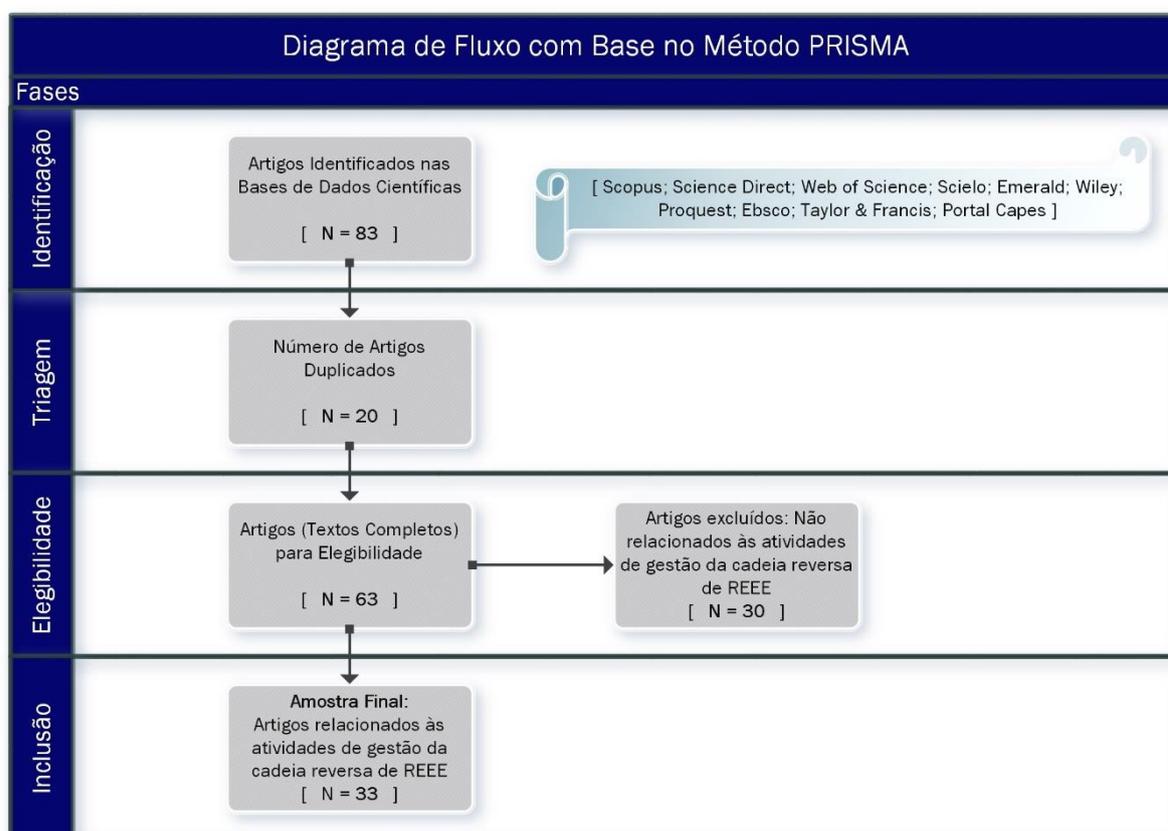
criando subsídios para a seleção das publicações científicas mais apropriadas ao embasamento e desenvolvimentos de novas estruturas conceituais.

O processo de revisão bibliométrica e sistemática adotado neste trabalho consiste de um método científico replicável, denominado PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), referindo-se à versão atualizada do QUORUM (*Quality of Reporting of Meta-Analyses*).

O método PRISMA consiste de uma sequência de passos devidamente descritos e exemplificados, por meio de um diagrama de fluxo dividido em quatro fases (identificação, triagem, elegibilidade, inclusão), além das justificativas para exclusões e a apresentação das bases de dados aplicadas ao estudo (MOHER *et al.*, 2009).

Conforme as recomendações do método PRISMA, na Figura 6 é apresentado o diagrama de fluxo contendo as fases sequenciais de (identificação, triagem, elegibilidade e inclusão), além dos respectivos números de artigos relacionados a cada fase, permitindo atingir ao portfólio final de publicações científicas que fizeram parte da revisão sistemática (análise de conteúdo) do presente trabalho científico.

Figura 6 – Diagrama de Fluxo de Pesquisa Baseado no Método PRISMA



Fonte: Adaptado de Moher *et al.* (2009)

Na primeira etapa da revisão da literatura científica, a qual se encontra relacionada à fase de “Identificação” do método PRISMA, destaca-se a realização de pesquisas nas bases de dados (Scopus; Science Direct; Web of Science; Scielo; Emerald; Wiley; Proquest; Ebsco; Taylor & Francis; Portal Capes), levando-se em consideração a utilização dos conjuntos de palavras-chave delimitados à língua inglesa, conforme apresentados na Figura 7. Nessa primeira etapa (análise bibliométrica), 83 publicações científicas de periódicos foram localizadas, considerando-se buscas não limitadas a períodos específicos.

Figura 7 – Bases de Dados e Conjuntos de Palavras-Chave

Bases de Dados	nº	Conjuntos de Palavras-Chave
	[1]	"reverse logistics""e-waste""circular economy"
	[2]	"reverse logistics""weee""circular economy"
	[3]	"reverse logistics""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
	[4]	"reverse chain""e-waste""circular economy"
	[5]	"reverse chain""weee""circular economy"
	[6]	"reverse chain""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
	[7]	"recyclers""e-waste""circular economy"
	[8]	"recyclers""weee""circular economy"
	[9]	"recyclers""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
[1] Scopus;	[10]	"recycling center""e-waste""circular economy"
[2] Science Direct;	[11]	"recycling center""weee""circular economy"
[3] Web of Science;	[12]	"recycling center""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
[4] Scielo;	[13]	"managers""e-waste""circular economy"
[5] Emerald;	[14]	"managers""weee""circular economy"
[6] Wiley;	[15]	"managers""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
[7] Proquest;	[16]	"waste manager""e-waste""circular economy"
[8] Ebsco;	[17]	"waste manager""weee""circular economy"
[9] Taylor & Francis;	[18]	"waste manager""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
[10] Portal Capes;	[19]	"manufacturers""e-waste""circular economy"
	[20]	"manufacturers""weee""circular economy"
	[21]	"manufacturers""waste electrical and electronic equipment""circular economy"
	[22]	"electronics manufacturer""e-waste""circular economy"
	[23]	"electronics manufacturer""weee""circular economy"
	[24]	"electronics manufacturer""waste electrical and electronic equipment""circular economy"

Fonte: O autor

Entretanto, na fase de “Triagem” do método PRISMA, 20 artigos científicos foram descartados, devido a algumas publicações se encontrarem duplicadas entre as bases de dados pesquisadas. Na fase de “Elegibilidade” do método PRISMA, a princípio, 63 artigos científicos foram considerados elegíveis e com textos completos,

os quais foram lidos integralmente. No entanto, 30 artigos científicos não faziam parte das atividades de gestão da cadeia reversa de REEE e o respectivo direcionamento para a promoção da EC.

Por conseguinte, na fase final relacionada à “Inclusão” do método PRISMA, 33 artigos científicos foram validados, os quais retratam as atividades de gestão da cadeia reversa de REEE e o direcionamento para a promoção da EC. Diante disso, chegou-se ao portfólio final de publicações científicas, de modo que as mesmas foram utilizadas para a fundamentação teórica do presente estudo científico.

### **3.1.2 Definição do Método de Pesquisa e Procedimento de Coleta dos Dados**

O método de pesquisa aplicado no presente estudo científico, refere-se ao *Survey*. Conforme Pinsonneaut e Kramer (1993), o *Survey* é caracterizado pela obtenção de dados e informações características de determinados grupos de pessoas, considerando-os como representantes de um público alvo, com o propósito de gerar descrições quantitativas dessa população, por meio da aplicação de instrumentos pré-definidos.

Segundo Bryman (1989), o método *Survey* contribui para o conhecimento de determinada área de interesse por meio de coletas de dados sobre ambientes e grupo de indivíduos, realizadas normalmente por instrumentos pré-definidos como questionários e entrevistas, de modo que os pesquisadores não intervenham nos resultados oriundos das respectivas coletas de dados. Para Forza (2002), o método *Survey* traz contribuições relevantes para o conhecimento de áreas particulares de interesse, envolvendo uma coletânea de dados e informações de grupos de indivíduos por meio de questionários estruturados e / ou semiestruturados sobre os mais diversificados campos de pesquisas.

Ressalta-se que o passo preliminar para a aplicação do *Survey*, refere-se à realização de pré-testes (testes pilotos), comumente aplicados a especialistas de determinada área de interesse. Esse teste piloto consiste na aplicação de instrumentos de pesquisa (questionário) em um grupo menor de pessoas, o qual faz parte da amostra a ser estudada. Nessa primeira etapa, é sugerido que o pesquisador esteja presente para observar como os respondentes preenchem os questionários, além do esclarecimento dos mesmos quanto a possíveis dúvidas e retornos mais precisos de cada especialista. Na etapa subsequente, o questionário é enviado ao grupo maior de respondentes, considerando-se que o instrumento de pesquisa se

encontra validado e com mais precisão para as coletas de dados, o que reduz a possibilidade de eventuais respostas fora do escopo da pesquisa (FORZA, 2002).

Diante ao exposto, na etapa preliminar do *Survey*, o presente estudo científico segue as recomendações de Forza (2002), adotando-se a aplicação do teste piloto sobre especialistas da área pesquisada. Ressalta-se que, os respondentes selecionados são profissionais representantes de fabricantes e importadoras de EEE (gerentes, gestores e supervisores da área de sustentabilidade das empresas), os quais fazem parte da tratativa para a gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil, com profundos conhecimentos relacionados aos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora), além do envolvimento direcionado ao atendimento do “Acordo Setorial de para a Implantação do Sistema de Logística Reversa de REEE”.

Nessa primeira etapa (pré-teste), sob a aplicação do questionário de pesquisa, os especialistas respondentes foram acompanhados pelo autor, que ficou incumbido de contextualizar o cenário da presente proposta de pesquisa e apresentar as questões do questionário de pesquisa, além do esclarecimento dúvidas. Na segunda etapa do *Survey*, o instrumento de pesquisa (questionário) foi enviado para os respondentes da amostra final (gerentes, gestores e supervisores da área de sustentabilidade das fabricantes e importadoras de EEE) no Brasil.

### **3.1.3 Definição dos Testes Estatísticos e Procedimento de Análise dos Dados**

Para o teste estatístico relacionado ao módulo 1 (Avaliação do Grau de Importância de cada *Player* na gestão da cadeia reversa para promover a EC) da estrutura conceitual apresentada na Figura 5, foi adotada a aplicação do “Teste de Friedman”. O “Teste de Friedman, segundo Siegel e Castellan (2006), consiste de uma avaliação não-paramétrica, aplicável no delineamento de módulos de testes estatísticos relacionados a dados mensurados a nível de variáveis ordinais, abrangendo três ou mais grupos de análises, equivalente à ANOVA (análise de variância que permite comparar distribuição de três ou mais grupos de amostras independentes).

O teste estatístico de distribuição não-paramétrica de Friedman, não exige que os dados apresentem distribuição normal ou exponencial, sendo comumente utilizado em condições relacionadas a amostras pareadas ou grupos comparados entre si. A hipótese interna do teste de Friedman (hipótese nula) estabelece que as médias de todos os grupos são estatisticamente iguais (as mesmas não têm diferenças

significativas). Entretanto, a rejeição dessa “hipótese nula” indica que existem diferenças estatisticamente significativas (DEMSAR, 2006).

Ao detectar a rejeição da hipótese interna do teste de Friedman (hipótese nula), há a necessidade de realizar um teste complementar de comparações múltiplas, a fim de identificar quais grupos têm médias estatisticamente diferentes e significativas e quais não. Para isso, utiliza-se o teste de comparações múltiplas (Simes-Hochberg), que analisa “dois a dois” as médias dos grupos, buscando-se avaliar se existem ou não diferenças estatisticamente significativas entre os grupos testados (DEMSAR, 2006).

Para o teste estatístico relacionado ao módulo 2 (Avaliação do Grau de Importância das Práticas Favoráveis à EC) da estrutura conceitual apresentada na Figura 5, adotou-se o “Teste de Kruskal-Wallis”. Este teste estatístico é utilizado quando há a necessidade de comparar três ou mais grupos independentes com variáveis de denominações ordinais, buscando-se avaliar se existem diferenças significativas entre os grupos, além de também apresentá-los sob níveis de ranking após a efetivação das análises. Por se tratar de um teste não-paramétrico, também chamado de teste sem distribuição, não se pressupõe que os dados sigam uma distribuição normal (LEVIN; RUBIN, 2004).

O “Teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis” tem como principal parâmetro, a avaliação da hipótese interna (hipótese nula), que consiste em analisar se existem igualdades estatísticas entre as médias dos grupos testados, se a “hipótese nula” for rejeitada, os grupos possuem diferenças estatisticamente significativas. Diante da “hipótese nula” rejeitada, necessita-se realizar uma análise de comparações múltiplas por meio do “Holm-Sidak”, a fim de identificar quais grupos têm as médias estatísticas significativamente diferentes e quais não (LEVIN; RUBIN, 2004).

Campbell e Skillings (1985) ressalta que o “Teste de Kruskal-Wallis”, é considerado um dos mais importantes testes não-paramétricos para a verificação de diferenças entre as médias em grupos independentes, inteiramente casualizados e para o ranqueamento destes, entretanto, o “Holm-Sidak” é um complemento para o “Teste de Kruskal-Wallis”, visto que localiza quais grupos apresentam médias significativamente diferentes por meio de comparações múltiplas.

Em termos de interpretação dos principais parâmetros aplicáveis aos testes estatísticos não-paramétricos, Demsar (2006) destacam as seguintes definições:

- A (hipótese nula) na “estatística não-paramétrica” estabelece que as médias de todos os grupos comparados são estatisticamente iguais.

- A rejeição dessa (hipótese nula) indica que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados.
- O (P-valor) na “estatística não-paramétrica”, também chamado de “probabilidade de significância”, é responsável por rejeitar ou aceitar a “hipótese nula”.
- Se o (P-valor) for inferior a 0,05 (5%) a “hipótese nula” é rejeitada, concluindo-se com 95% de confiança que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados.
- Se o (P-valor) for superior a 0,05 (5%) a “hipótese nula” é aceita, indicando a inexistência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados.
- Ao estabelecer a análise das médias de todos os grupos comparados, os níveis de ranqueamento obtidos por uma classificação ordenada de agrupamento remetem aos resultados do grau de importância de cada elemento avaliado.

As avaliações estatísticas relacionadas ao (Teste de Friedman, Simes-Hochberg, Teste de Kruskal-Wallis e o Holm-Sidak) foram realizadas por meio do software “Action Stat” na versão 3.7.

O “Action Stat 3.7” é um software estatístico completo, desenvolvido sobre a plataforma R (principal linguagem de programação estatística de uso global). Trata-se de um sistema flexível que permite a conexão e a interação com o software de planilha eletrônica (Microsoft Excel), adaptando as funcionalidades ao mesmo. Entre uma gama de ferramentas estatísticas, o sistema realiza testes de hipóteses paramétricas, não-paramétricas, comparações múltiplas, análises de variância, modelos de regressão, análises gráficas, dentre outras funcionalidades (ACTION, 2020).

O software estatístico utilizado para avaliar o tamanho da amostra é o G\*Power na versão 3.1.9.7. Trata-se de um software que permite uma diversidade de análises estatísticas, entre elas a identificação do tamanho mínimo das amostras, o cálculo do poder do teste, a adequabilidade do tamanho amostral a fim de identificar diferenças significativas em testes paramétricos e não-paramétricos, dentre outras funcionalidades (PRAJAPATI; DUNNE; ARMSTRONG, 2010).

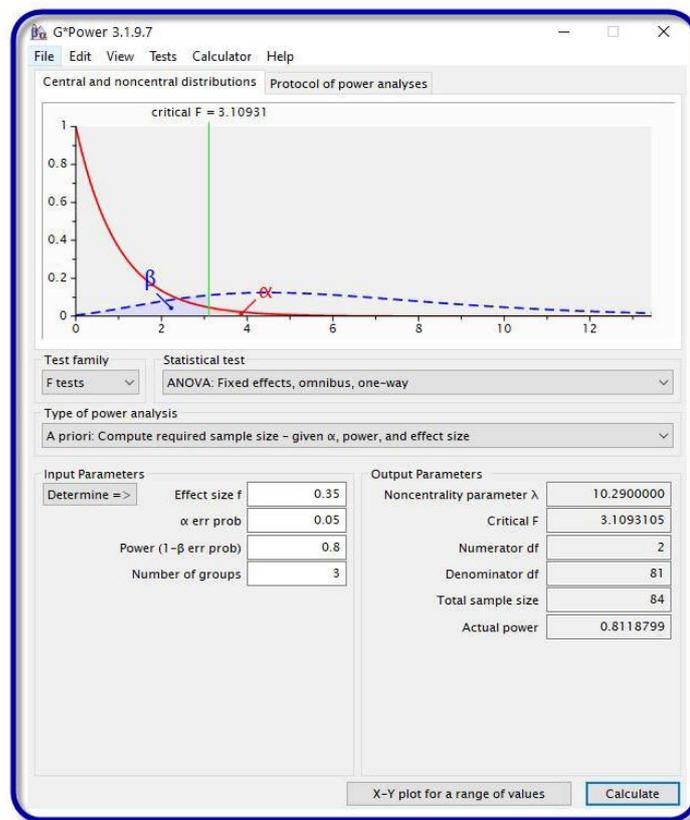
No software estatístico G\*Power, levou-se em consideração as recomendações de Cohen (1988) para a análise estatística F (teste F), a qual avalia a relação entre a variação das médias da amostra e a variação interna dessas amostras. Além disso, Cohen (1988) ressalta que na determinação do tamanho do efeito ( $f^2$ ), considera-se os parâmetros nos valores (0,02; 0,15; 0,35), os quais respectivamente representam

efeitos (pequeno; médio; grande) na área de ciências sociais. No presente estudo científico, adotou-se o tamanho do efeito ( $f^2$ ) igual a 0,35.

Com relação ao poder do teste ( $1 - \beta$ ), em termos de pesquisas científicas, é mais crítico cometer um erro tipo (I) do que um erro tipo (II). O erro relacionado ao tipo (I) é decorrente da rejeição de uma hipótese nula verdadeira. O erro tipo (II) ocorre com a aceitação da hipótese nula falsa. A probabilidade no enquadramento de um erro do tipo (I) é alpha ( $\alpha$ ), que se refere ao nível de significância definido nos testes de hipóteses. Ao considerar “alpha ( $\alpha$ )” igual a 0,05, a aplicação do “poder do teste ( $1 - \beta$ )” é igual a 0,80, fazendo com que o erro do tipo (II) seja mais provável do que o erro do tipo (I) (COHEN, 1988).

Diante dos parâmetros explicitados, realizou-se o cálculo no software G\*Power, onde foi identificado que a amostra mínima para o *Survey* deve ser de 84 respostas, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Teste do Tamanho Mínimo da Amostra no Software G\*Power



Fonte: O autor

Na etapa preliminar do *Survey* (teste piloto), dez especialistas da área foram selecionados e acompanhados pelo autor, o qual fez a contextualização do cenário

da presente proposta de pesquisa, além da apresentação do questionário e suas respectivas questões de pesquisa aos respondentes, conforme modelo apresentado no “Apêndice 1”.

Na etapa final do *Survey*, os especialistas responderam ao questionário por meio da plataforma “*Google Forms*”, de modo que o mesmo foi enviado por e-mail, obtendo-se respostas de 91 respondentes. Após o recebimento dos questionários respondidos, os dados foram tabulados e formatados para a aplicação dos mesmos no software “*Action Stat 3.7*” visando a realização de seus respectivos testes estatísticos.

No Quadro 3, apresenta-se uma síntese dos testes estatísticos realizados, o tipo de avaliação relacionada a cada módulo, além das respectivas questões de pesquisa do questionário, as quais se encontram vinculadas aos testes estatísticos.

Quadro 3 – (Testes Estatísticos Não-Paramétricos, Avaliações e Questões Vinculadas)

	Teste Estatístico	Avaliação	Questões Vinculadas aos Testes Estatísticos	
Módulo 1	(Teste de Friedman) & (Simes-Hochberg)	Avaliação do Grau de Importância de Cada Player na Gestão da Cadeia Reversa de REEE para Promover a EC, o direcionamento do material reciclado, além da aplicação prática dos “4Rs da EC” nessa cadeia.	Q1 Q2 Q3 Q4	Questionário unificado - (Apêndice 1)
Módulo 2	(Teste de Kruskal-Wallis) & (Holm-Sidak)	Avaliação do Grau de Importância das Práticas Favoráveis à EC para a Gestão da Cadeia Reversa de REEE.	Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10 Q11 Q12 Q13 Q14 Q15 Q16 Q17	

## 4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA E ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA (TESTE DE FRIEDMAN)

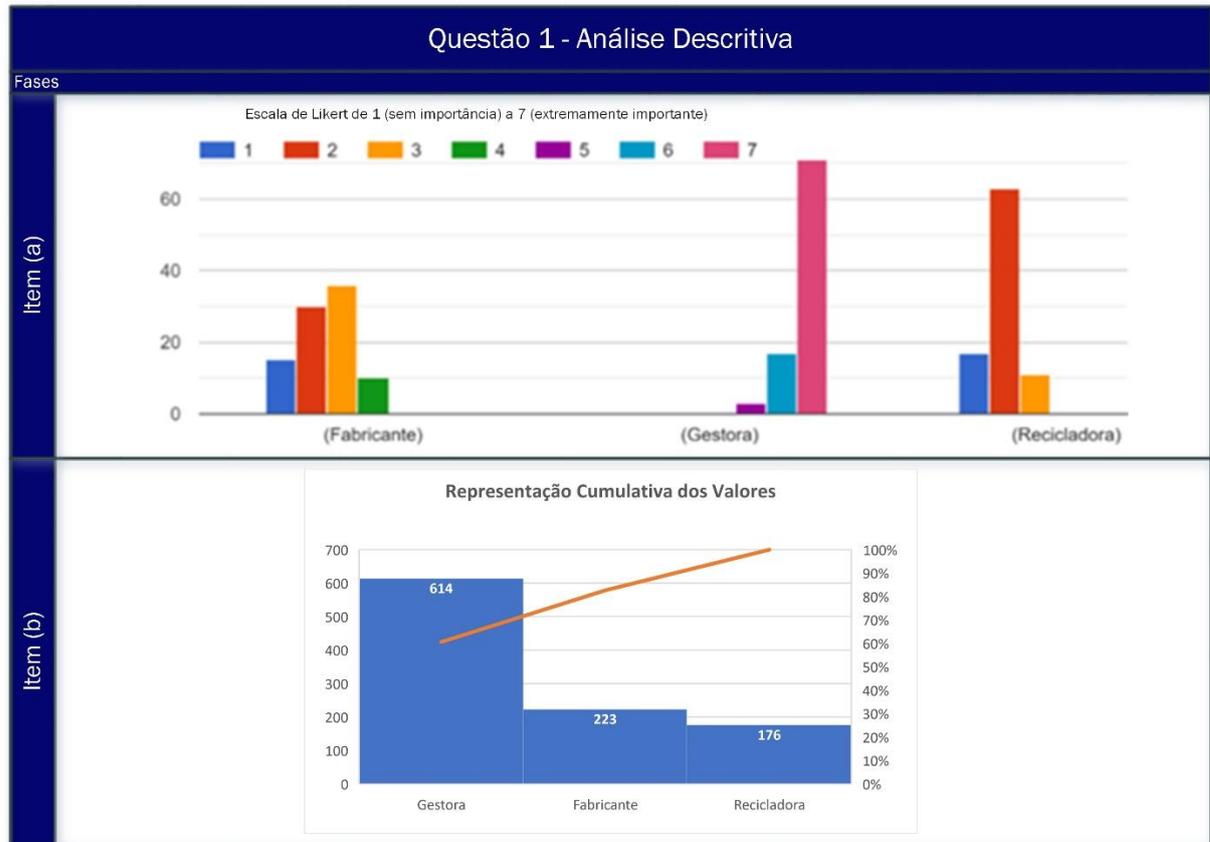
Diante dos resultados atribuídos ao instrumento de pesquisa (Questionário Semiestruturado – Apêndice 1 – Bloco 1), buscou-se avaliar entre os três *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora), qual é a configuração mais adequada para promover a EC no Brasil, o direcionamento do material reciclado, além da aplicação prática dos ‘4Rs’ da EC nessa cadeia reversa, conforme as questões enumeradas de 1 a 4.

#### 4.1.1. Grau de Importância dos *Players* na Gestão da Cadeia Reversa de REEE para Promoção da EC

Na questão 1, avaliou-se qual é o “Grau de Importância” dos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) em termos de condições práticas e viáveis na gestão da cadeia reversa de REEE para promover a EC no Brasil, aplicando-se uma escala de Likert de 1 (sem importância) a 7 (extremamente importante).

Na análise descritiva das respostas dos 91 especialistas, conforme apresentado na Figura 9 “Item (a)” da questão 1, observa-se inicialmente que houve uma tendência dos respondentes em avaliar o *Player* (Gestora) com as escalas mais altas do “Grau de Importância”, seguido do *Player* (Fabricante) com menor representatividade, e por último, menos representativo, o *Player* (Recicladora). O “Item (b)” da Figura 9 destaca a representação cumulativa dos valores vinculados aos *Players* (Gestora, Fabricante, Recicladora), representando respectivamente os valores (614; 223; 176), os quais fazem referência à somatória das pontuações de cada *Player* em relação às escalas de Likert pontuadas pelos especialistas.

Figura 9 - Análise Descritiva da Questão 1 (Fabricante, Gestora, Recicladora)



Fonte: O autor

De modo sequencial à análise descritiva da questão 1, apresenta-se na Figura 10 a análise estatística não-paramétrica da mesma, aplicando-se o “Teste de Friedman” seguido do teste de comparações múltiplas “Simes-Hochberg”. O “Teste de Friedman” avaliou a hipótese interna nula de que as médias de todos os grupos são iguais, não havendo diferenças estatisticamente significativas, no entanto, como o “P-valor =  $1,7594 \times 10^{-34}$ ” foi inferior a 0,05, rejeitou-se essa hipótese nula, concluindo-se com 95% de confiança, que existem diferenças estatisticamente significativas em pelo menos dois grupos comparados.

Nos casos em que é rejeitada a hipótese nula do “Teste de Friedman”, há a necessidade de uma análise complementar para identificar quais grupos têm médias estatisticamente diferentes e quais não. Para este fim, aplicou-se o teste de comparações múltiplas “Simes-Hochberg”.

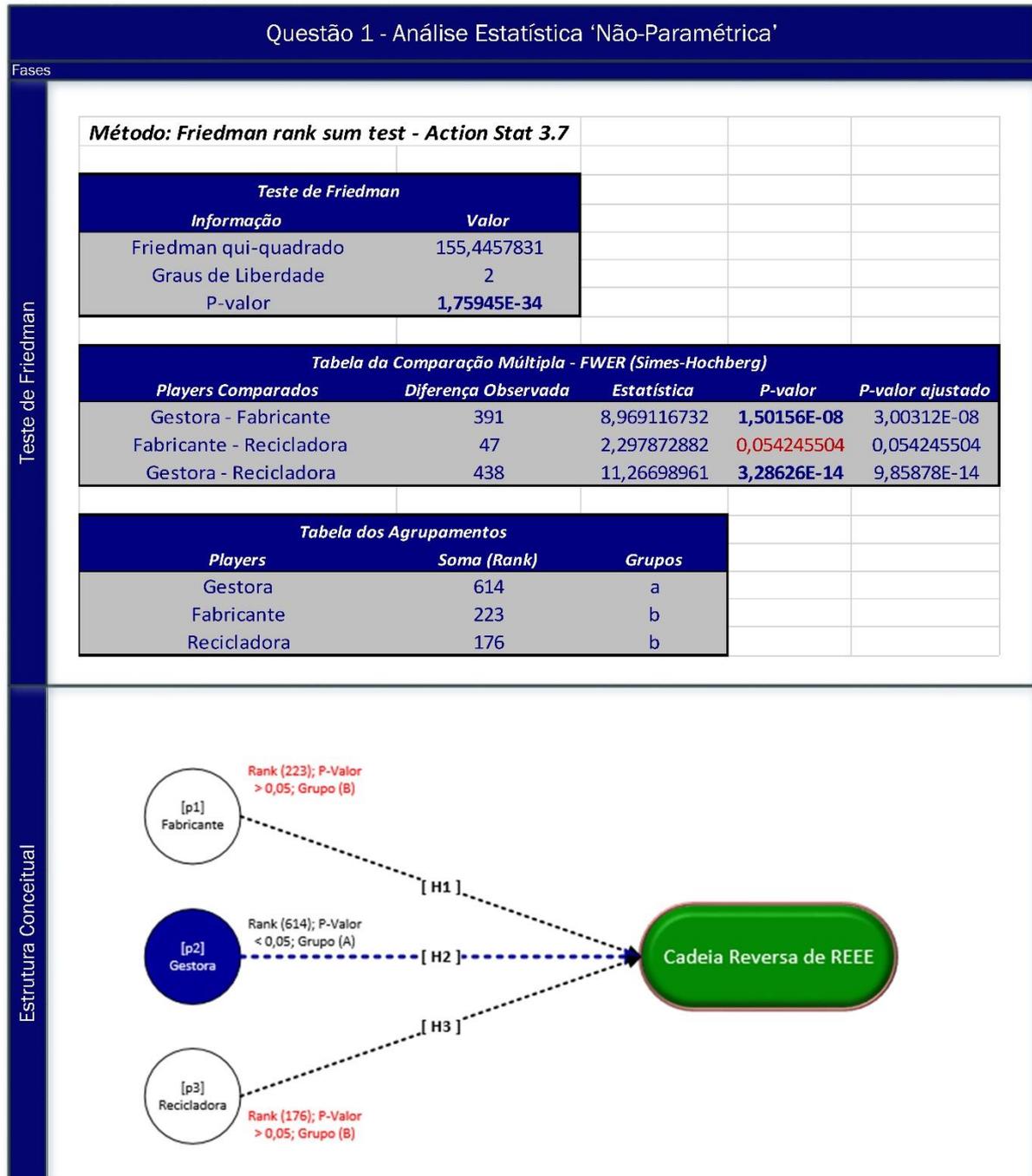
Este teste de comparações múltiplas avaliou “par a par” a hipótese de que as médias dos grupos são iguais, não há diferenças estatisticamente significativas. De acordo com os resultados do “P-valor” de cada combinação, comprovou-se diferenças estatisticamente significativas entre as combinações (Gestora e Fabricante = 1,50156

$\times 10^{-08}$ ) e (Gestora e Recicladora =  $3,28626 \times 10^{-14}$ ), visto que os valores foram inferiores a 0,05.

Para a comparação múltipla (Fabricante e Recicladora = 0,054245504) a hipótese nula não foi rejeitada, uma vez que os dois grupos não diferem ( $P > 0,05$ ), o que indica que não há diferenças estatisticamente significativas entre as médias desses dois grupos.

Na classificação ordenada da “Tabela dos Agrupamentos”, apresenta-se o ranqueamento das médias de cada elemento analisado, considerando que elementos de um mesmo grupo têm médias (não significativamente diferentes entre si), por outro lado, elementos de grupos diferentes têm médias (significativamente diferentes entre si).

Figura 10 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 1



Fonte: O autor

Em vista disso, os resultados relacionam a Gestora a um nível de ranqueamento mais elevado que os demais *Players*, o que denota maior “Grau de Importância” à mesma, além da comprovação de diferenças estatisticamente significativas entre todas as comparações múltiplas quando relacionadas com o *Player* (Gestora). Sendo assim, conforme os resultados das avaliações não-paramétricas do “Teste de Friedman e o Teste de Simes-Hochberg”, valida-se a hipótese ‘H2’ (A

Gestora ao realizar a gestão da cadeia reversa de REEE promove a EC), colocando-a a um nível de ranqueamento mais elevado, o que denota maior “Grau de Importância” à mesma, em termos de condições práticas e viáveis na gestão da cadeia reversa de REEE para promover a EC no Brasil.

Diante ao exposto, a gestão da cadeia reversa de REEE realizada pela Gestora promove às empresas de EEE, o tratamento mais adequado dos eletroeletrônicos em fim de vida útil, mediante um modelo mais eficaz para a EC, quando comparado às operacionalizações na modalidade individual e na modalidade de iniciativas isoladas (voluntárias), as quais respectivamente representam o *Player* (Fabricante) e o *Player* (Recicladora).

A rejeição da hipótese ‘H1’ (A Fabricante ao realizar a gestão da cadeia reversa de REEE promove a EC) indica que é mais vantajoso para as empresas de EEE optarem pelo uso da “Gestora Coletiva”, não havendo a necessidade de gerir, implementar e operacionalizar uma estrutura funcional de grande magnitude e complexidade, a qual deverá, gradativamente ser expandida para fins de cumprimento de metas de retorno do REEE, conforme preconizado pelo “Acordo Setorial do Sistema de Logística Reversa de Eletroeletrônicos” no Brasil.

Para a hipótese ‘H3’ (A Recicladora ao realizar a gestão da cadeia reversa de REEE promove a EC), a mesma também rejeitada. Por se tratar de um modelo de “iniciativas isoladas” ou “atividades voluntárias”, conforme preconizado pelo “Acordo Setorial”, inexistem obrigações para o cumprimento de metas de retorno do REEE. Com isso, a expansão dos serviços relacionados ao sistema de logística reversa de REEE não é exigida para essa modalidade. Entretanto, essas instituições de iniciativas voluntárias ficam responsabilizadas de dar destinação ambientalmente adequada a 100% do REEE que for coletado.

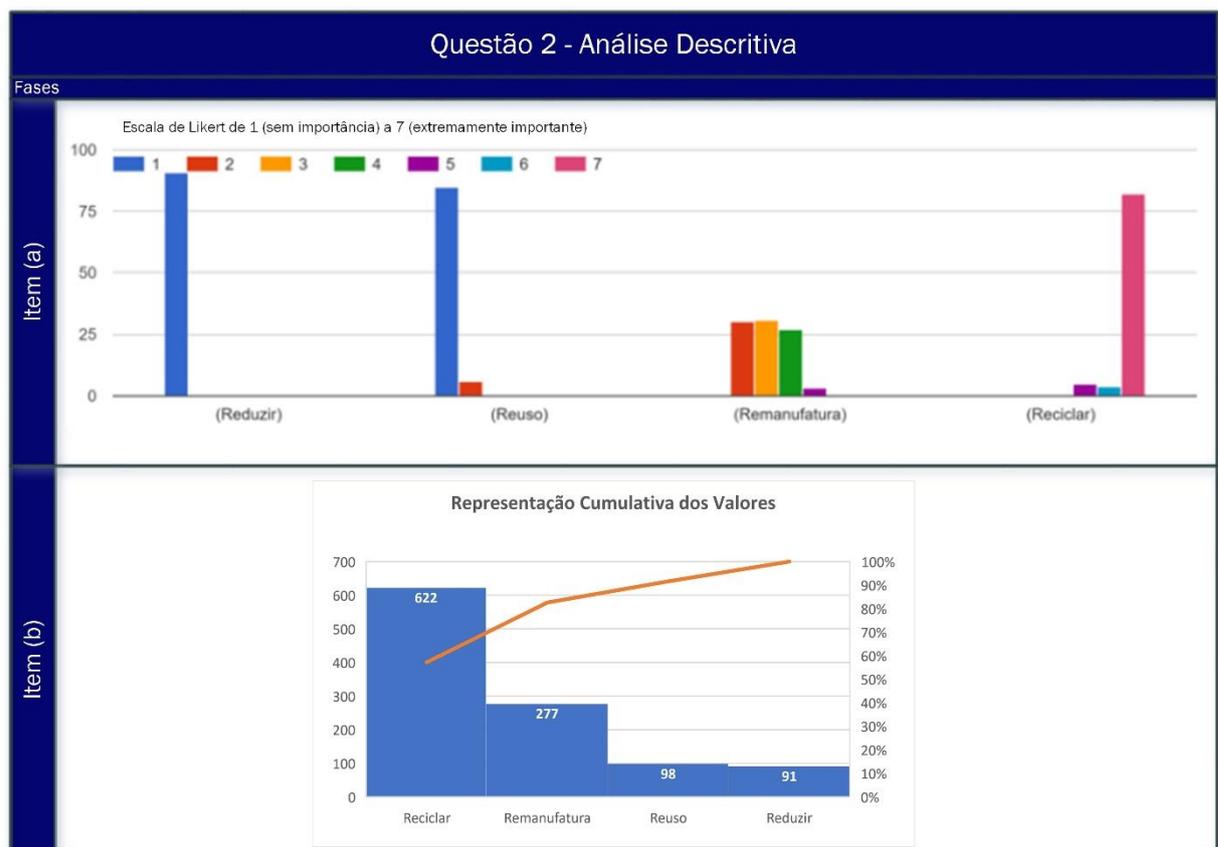
No que se refere ao cumprimento de metas de retorno do REEE preconizado pelo “Acordo Setorial” para a logística reversa de eletroeletrônicos, a operacionalização da cadeia reversa por meio da Gestora se destaca como a mais vantajosa para a EC. Além disso, essa “Modalidade Coletiva” traz vantagens às empresas de EEE associadas devido ao compartilhamento de soluções, a otimização de recursos e a infraestrutura para o tratamento e destinação final ambientalmente adequada do REEE.

#### 4.1.2. Níveis de Aplicação Prática dos '4Rs' da EC na Cadeia Reversa de REEE

Na questão 2, ao considerar a gestão da cadeia reversa de REEE para fins de promoção da EC no Brasil, procurou-se avaliar quais são os níveis de aplicação prática dos '4Rs' da EC. Para cada 'R' (Reduzir, Reuso, Remanufatura, Reciclar) aplicou-se uma escala de Likert de 1 (sem importância) a 7 (extremamente importante).

Conforme apresentado na Figura 11, a análise descritiva das respostas relaciona o 'R' (Reciclar) como o mais representativo em termos de "Grau de Importância", seguido do 'R' (remanufatura), além do 'R' (Reuso) e 'R' (Reduzir) com valores pouco expressivos.

Figura 11 – Análise Descritiva da Questão 2 (Reduzir, Reuso, Remanufatura, Reciclar)



Fonte: O autor

Na análise estatística não-paramétrica relacionada à questão 2 (Figura 12), o "P-valor =  $2,00656 \times 10^{-58}$ " do "Teste de Friedman" foi inferior a 0,05, o que denota a rejeição da hipótese interna nula, indicando que existem diferenças estatisticamente

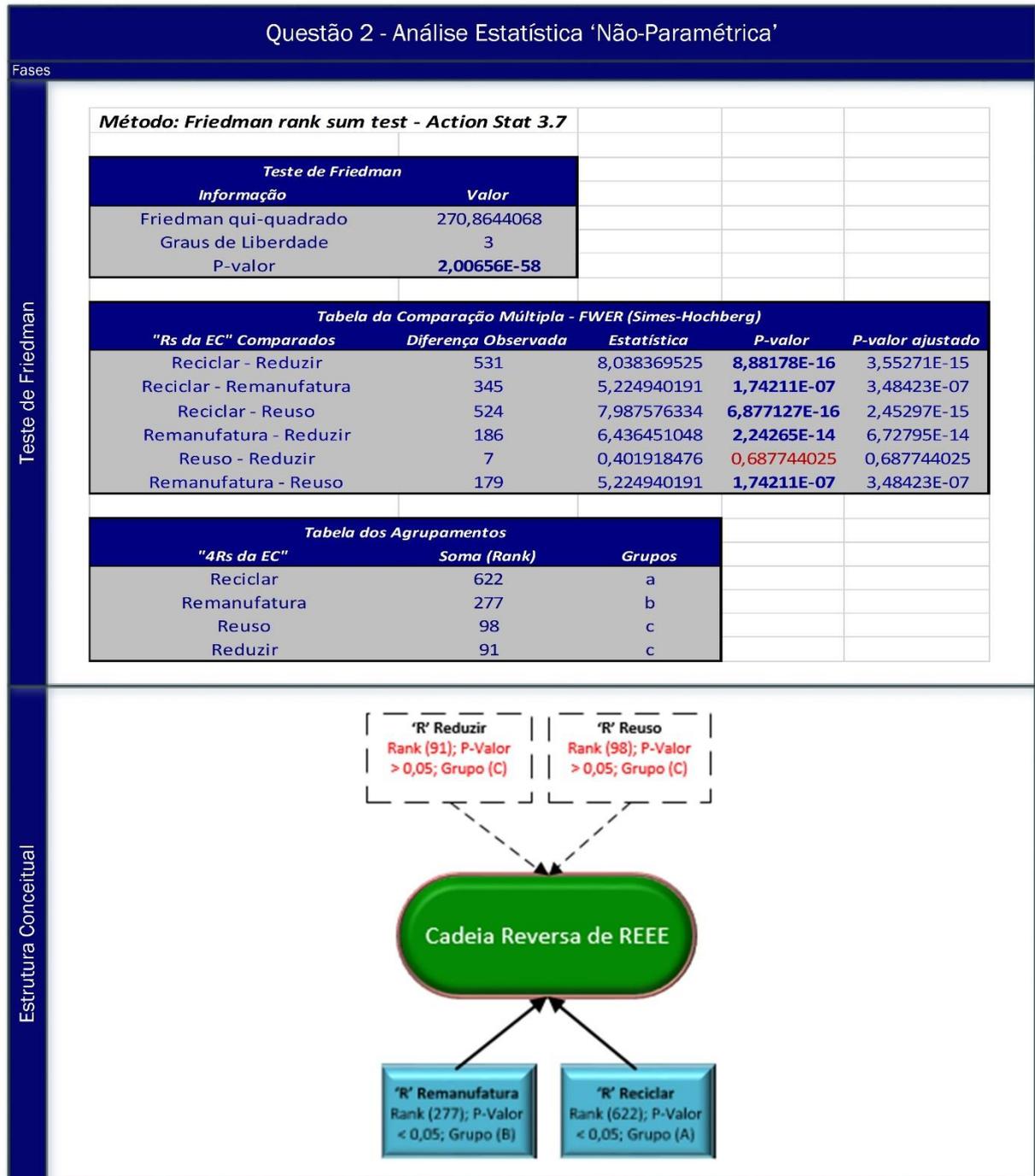
significativas com 95% de confiança entre os '4Rs' da EC (em pelo menos dois grupos de elementos comparados).

Subsequente ao "Teste de Friedman", o teste de comparações múltiplas "Simes-Hochberg" avaliou (par a par) a hipótese nula de que as médias dos grupos são iguais (não há diferenças estatisticamente significativas).

De acordo com os resultados do "P-valor" de cada combinação relacionada ao teste de "Simes-Hochberg", rejeitou-se a hipótese nula, comprovando a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as combinações ("Reciclar e Reduzir", "Reciclar e Remanufatura"; "Reciclar e Reuso", "Remanufatura e Reduzir", "Remanufatura e Reuso"), visto que as mesmas apresentaram um 'P-valor' menor que 0,05. Entretanto, para a combinação (Reuso e Reduzir), o "P-valor" acima de 0,05 indica que "não há diferenças estatisticamente significativas" entre esses dois últimos elementos avaliados no teste de comparações múltiplas.

Na tabela de agrupamentos, apresenta-se a classificação ordenada do ranqueamento de cada elemento analisado, indicando pesos maiores ao 'R' Reciclar, seguido do 'R' Remanufatura, 'R' Reuso e 'R' Reduzir.

Figura 12 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 2



Fonte: O autor

A maior representatividade do ‘R’ Reciclar da EC na cadeia reversa de REEE denota que as atividades de reciclagem do lixo eletrônico no Brasil são proeminentes, de modo que a configuração e operacionalização dessa cadeia reversa favorece o reaproveitamento da matéria-prima secundária. Sua maior contribuição para a EC, encontra-se direcionada em diminuir a necessidade de consumo da matéria-prima

virgem devido a possibilidade do uso do material reciclado, reduzindo-se também a necessidade de extração da matéria-prima da natureza.

O 'R' Remanufatura, o qual trata da recuperação de componentes, fabricação de módulos e novos produtos eletrônicos são práticas pouco inseridas na cadeia reversa de REEE do Brasil ao considerar a implementação e a operacionalização da mesma. Por outro lado, as práticas vinculadas ao 'R' Reduzir e o 'R' Reuso, ambas são inexistentes em termos de implementação na cadeia reversa de REEE do Brasil.

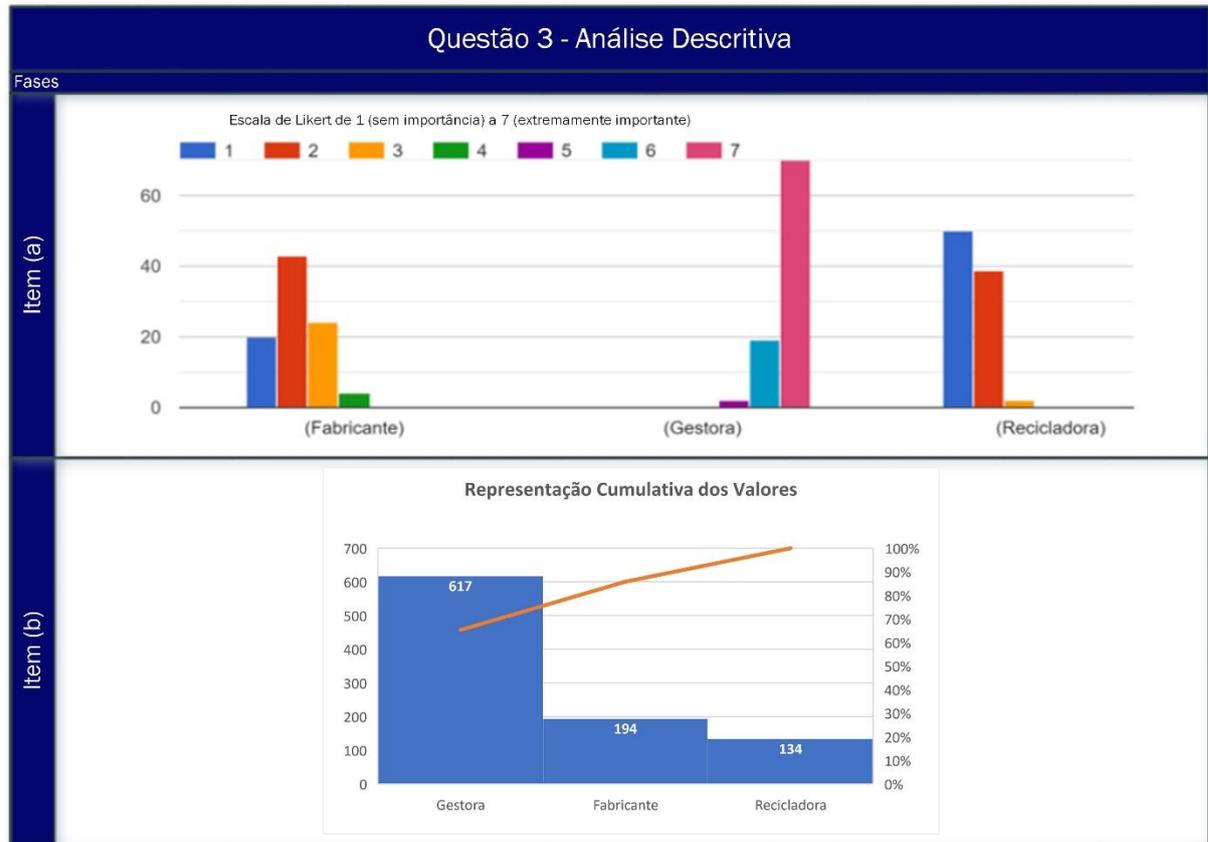
Essa constatação revela que não se aplica à cadeia reversa de REEE do Brasil, a utilização de estratégias para o desenvolvimento de novos produtos que possam apresentar menores consumos de energia e certificações de rotulagem ecológica aos materiais oriundos do lixo eletrônico, as quais fazem parte do 'R' Reduzir. Pertinente ao 'R' Reuso, também não se aplica na cadeia reversa de REEE brasileira, estratégias práticas vinculadas ao prolongamento da vida útil do produto que ainda se encontra dentro de padrões funcionais em termos operacionais de uso.

#### **4.1.3. Grau de Importância dos *Players* na Gestão da Cadeia Reversa de REEE e o Envio dos Materiais Reciclados ao Mercado Secundário**

Na questão 3, avaliou-se o “Grau de Importância” dos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) em termos de gestão da cadeia reversa de REEE nos processos de “coleta, armazenamento, triagem, pré-processamento e envio às centrais de reciclagem”, considerando o direcionamento dos materiais reciclados ao “mercado secundário” para fins de promoção da EC no Brasil. Para cada *Player*, adotou-se a aplicação de uma escala de Likert de 1 (sem importância) a 7 (extremamente importante).

A análise descritiva das repostas da questão 3, conforme apresentado na Figura 13, indica maior representatividade ao *Player* (Gestora), o qual recebeu valores nas escalas mais altas (grau de importância), seguido do *Player* (fabricante) com menor expressividade de valores, e por último, menos representativo, o *Player* (Recicladora).

Figura 13 – Análise Descritiva da Questão 3 (Fabricante, Gestora, Recicladora)

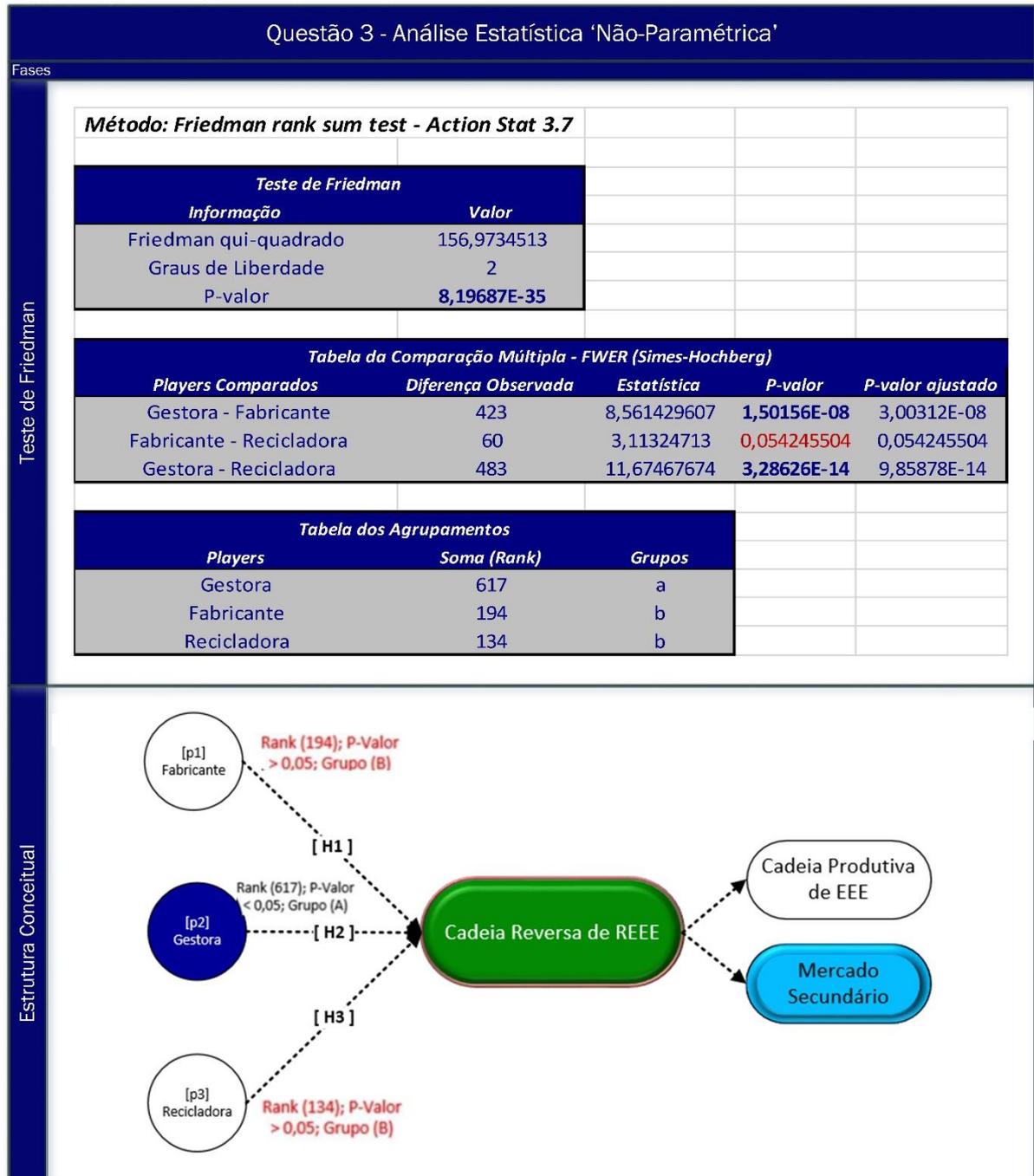


Fonte: O autor

Na sequência da análise descritiva, a análise estatística não-paramétrica (Teste de Friedman) relacionada à questão 3 (Figura 14) rejeitou a hipótese nula interna de que as médias de todos os grupos são iguais (sem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos), visto que o “P-valor =  $8,19687 \times 10^{-35}$ ” é inferior a 0,05.

Na análise de comparações múltiplas do teste “Simes-Hochberg”, observa-se que somente o grupo (Fabricante e Recicladora) apresentou o “P-valor” maior que 0,05, a hipótese nula é aceita, indicando com 95% de confiança que “não há diferenças estatisticamente significativas” entre as médias deste grupo. Para os grupos (Gestora e Fabricante) e (Gestora e Recicladora) o teste de comparações múltiplas confirmou a existência de “diferenças estatisticamente significativas”, de modo que a gestora, refere-se ao *Player* mais representativo, em termos de “Grau de Importância” na gestão da cadeia reversa e o respectivo direcionamento dos materiais reciclados ao mercado secundário.

Figura 14 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 3



Fonte: O autor

Há de se destacar que, apesar da gestão da cadeia reversa de REEE ter apresentado o maior “Grau de Importância” à “Gestora Coletiva” para promover a EC, o material reciclado é destinado ao “Mercado Secundário”, representado por empresas especializadas na fabricação de produtos que utilizam o plástico, vidro, ferro, alumínio, cobre e aço.

Essas empresas são responsáveis por absorverem a matéria-prima secundária da cadeia reversa de REEE, o que contribui com a circularidade material oriunda do lixo eletrônico, promovendo a mitigação da extração dos recursos da natureza. Por outro lado, a gestão e operacionalização dessa cadeia reversa indica que os processos de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária são descentralizados, os quais dependem da formalização de constantes parcerias com empresas de diversos segmentos para a comercialização do material reciclado.

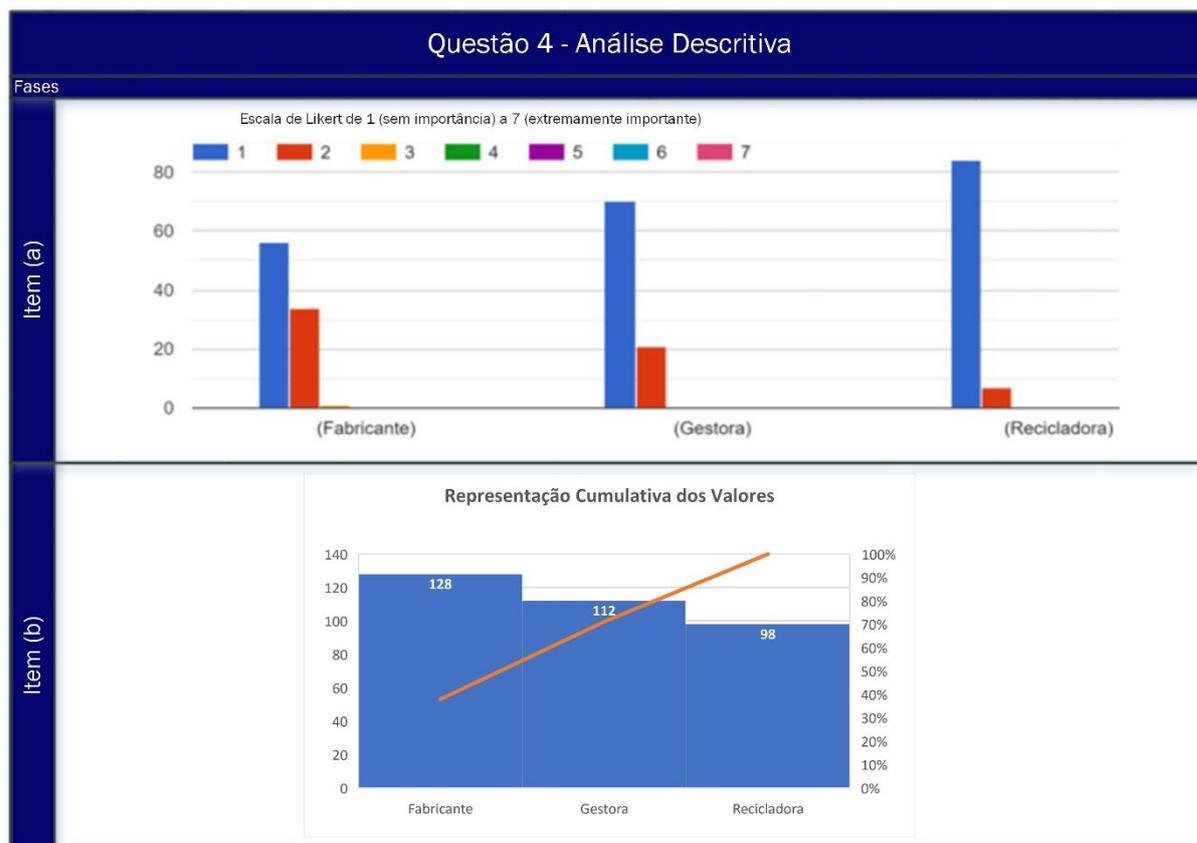
Ainda neste cenário de descentralização e carência de desenvolvimento de uma rede cooperativa centralizada no Brasil para fins de absorção de toda a matéria-prima oriunda do REEE, destaca-se a dependência de parcerias com indústrias localizadas no exterior, as quais adquirem as Placas de Circuito Impresso (PCI) pré-processadas para a recuperação dos metais preciosos (prata, ouro, platina e paládio).

#### **4.1.4. Grau de Importância dos *Players* na Gestão da Cadeia Reversa de REEE e o Envio dos Materiais Reciclados às Fabricantes de Eletroeletrônicos**

Na questão 4, avaliou-se o “Grau de Importância” dos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) em termos de gestão da cadeia reversa de REEE nos processos de “coleta, armazenamento, triagem, pré-processamento e envio às centrais de reciclagem”, considerando o direcionamento dos materiais reciclados às “fabricantes de eletroeletrônicos” para fins de promoção da EC no Brasil. Para cada *Player*, adotou-se uma escala de Likert de 1 (sem importância) a 7 (extremamente importante).

Diante da análise descritiva das respostas da questão 4 (Figura 15), observa-se inicialmente uma tendência dos respondentes em avaliar os três *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora) nas escalas mais baixas do “Grau de Importância), conforme apresentado no “item (a)”. No “item (b)” da respectiva figura, apesar de diferenças acentuadas, o *Player* (Fabricante) recebeu pontuações mais altas, quando comparado aos *Players* (Gestora e Recicladora).

Figura 15 – Análise Descritiva da Questão 4 (Fabricante, Gestora, Recicladora)

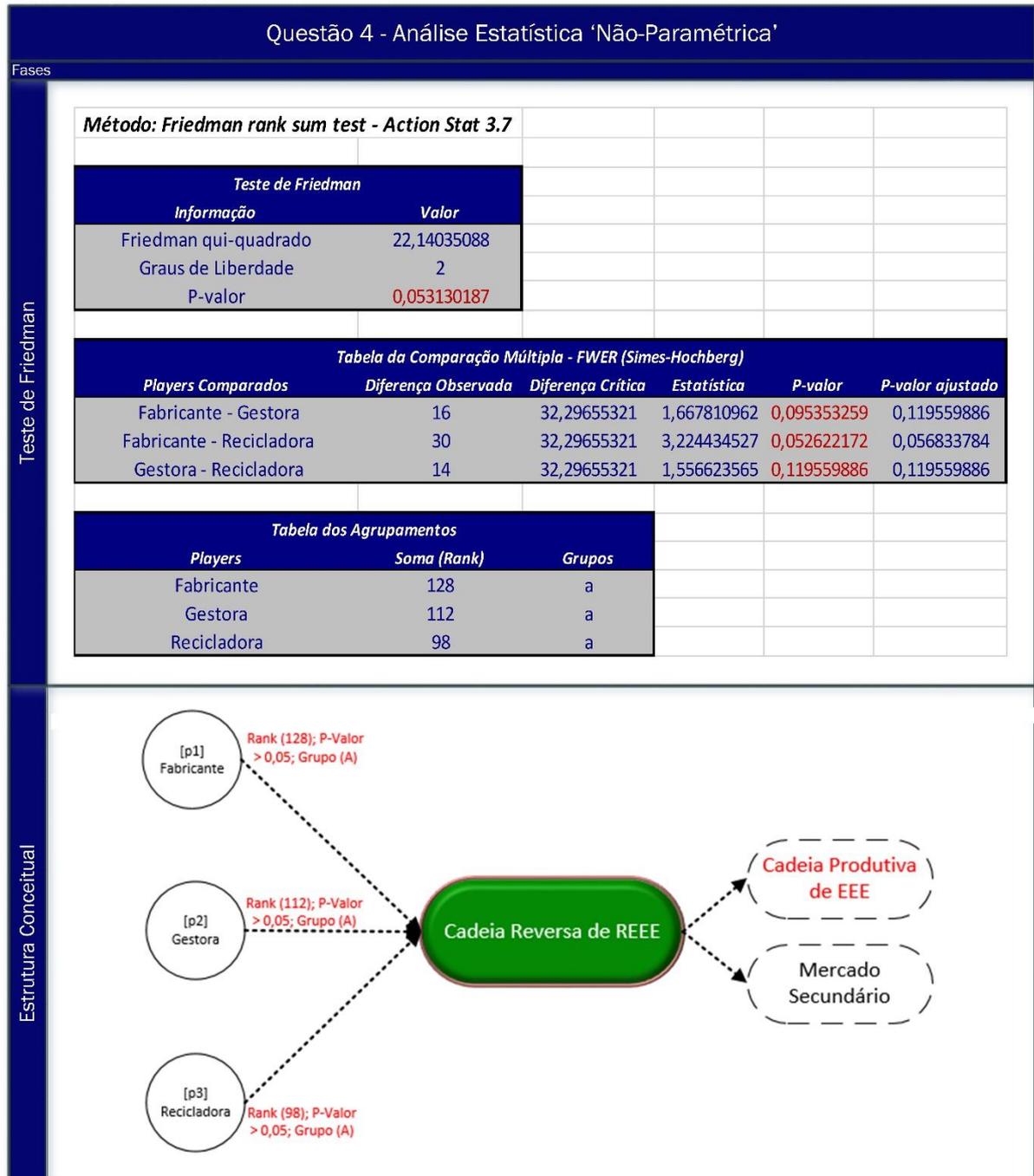


Fonte: O autor

Na análise estatística da questão 4 (Figura 16), por meio do “Teste de Friedman”, avaliou-se a hipótese interna nula de que as médias de todos os grupos são iguais (não havendo diferenças estatisticamente significativas), por outro lado, a rejeição dessa hipótese nula indica a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos testados. Nessa primeira etapa do “Teste de Friedman”, como “P-valor = 0,053130187” foi superior ao valor de corte que é de 0,05, a hipótese nula não foi rejeitada, confirmando a inexistência de diferenças estatisticamente significativas, com 95% de confiança, sendo também comprovada pelo teste de comparações múltiplas “Simes-Hochberg”, visto que, todas as combinações possíveis indicaram um “P-valor” superior a 0,05.

Na classificação ordenada da “Tabela de Agrupamentos”, apesar da apresentação do ranqueamento dos *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora), considera-se a “inexistência de diferenças estatisticamente significativas”, visto que todos os elementos testados se encontram inseridos em um mesmo grupo e todas as combinações possíveis apresentam com um “P-valor” superior a 0,05, ratificando esse resultado estatístico.

Figura 16 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ da Questão 4



Fonte: O autor

Diante dos resultados estatísticos apresentados, em termos de gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil, as práticas de operacionalização e destinação do material reciclado para as empresas fabricantes de EEE são pouco representativas, no que diz respeito ao “Grau de Importância” para os três *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora).

Isso indica que as indústrias de eletroeletrônicos não absorvem a matéria-prima secundária “originária do REEE” como uma prática comum para fins de promover a EC na realidade brasileira, não fazendo parte das mesmas, as estratégias de fechamento de ciclo, no que se refere à circularidade material entre a cadeia reversa de REEE e a cadeia produtiva de EEE.

Por outro lado, há de se destacar, que essa constatação do ranqueamento um pouco mais representativo para o Player (Fabricante) na análise estatística, faz referência e corrobora com o estudo de Neto, Correia e Schroeder (2017) sobre uma grande fabricante de eletroeletrônicos instalada no Brasil, a qual atua de forma isolada, realizando o reaproveitamento dos materiais plásticos (polímeros) em sua cadeia produtiva, por meio de um sistema próprio de logística reversa e reciclagem de seus produtos eletroeletrônicos comercializados no Brasil.

#### 4.2 ANÁLISE DESCRITIVA E ESTATÍSTICA NÃO-PARAMÉTRICA (TESTE DE KRUSKAL-WALLIS)

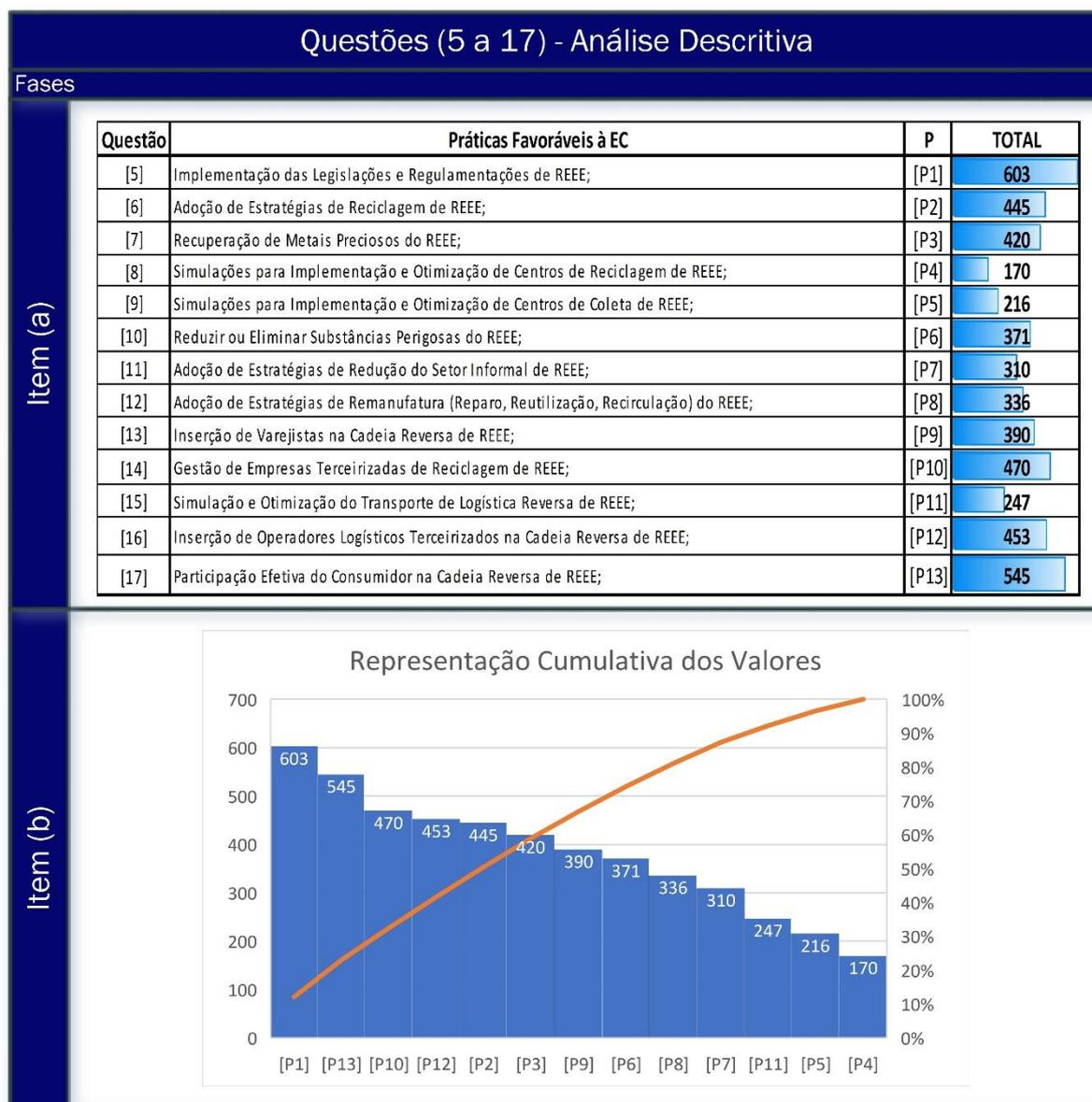
Nos resultados atribuídos ao instrumento de pesquisa (Questionário Semiestruturado - Apêndice 1 - Bloco 2), buscou-se avaliar o “Grau de Importância” das práticas, as quais influenciam na gestão da cadeia reversa de REEE para a promoção da EC no Brasil. Há de se destacar que, nas questões enumeradas de (5 a 17) foram adicionadas uma escala de Likert de 1 (sem importância) a 7 (extremamente importante).

##### **4.2.1. Grau de Importância das Práticas Favoráveis à EC para a Gestão da Cadeia Reversa de REEE**

Na análise descritiva das repostas vinculadas às práticas favoráveis à EC, conforme apresentado na Figura 17, as tendências de pontuações mais elevadas referem-se a legislações e regulamentações de REEE e a participação do consumidor na cadeia reversa, seguido das práticas relacionadas à gestão de empresas terceirizadas de reciclagem de REEE, inserção de operadores logísticos na cadeia reversa de REEE e estratégias de tratamento e reciclagem de REEE. Dentre os menos pontuados, destacaram-se as três práticas vinculadas a estratégias de simulação para o transporte logístico de REEE, centros de coleta e centros de reciclagem de REEE. Para os níveis intermediários de pontuação, as práticas destacadas foram a recuperação de metais preciosos do REEE, inserção de varejistas na cadeia reversa

de REEE, reduzir ou eliminar substâncias perigosas de REEE, além da adoção de estratégias de remanufatura (reparo, reutilização, recirculação) de REEE e adoção de estratégias de redução do setor informal de REEE.

Figura 17 – Análise Descritiva das Práticas Favoráveis à EC (Questões 5 a 17)



Fonte: O autor

Com a análise estatística não-paramétrica (vinculada às questões enumeradas de 5 a 17), conforme apresentado na Figura 18, o “P-valor =  $2,2626 \times 10^{-174}$ ” do “Teste de Kruskal-Wallis” foi inferior a 0,05, o que denota a rejeição da hipótese nula interna, indicando que “existem diferenças estatisticamente significativas com 95% de confiança” em pelo menos dois grupos comparados.

Subsequente ao “Teste de Kruskal-Wallis”, o teste de comparações múltiplas “Holm-Sidak” avaliou (par a par) a hipótese nula de que as médias dos grupos são iguais (ou seja, não há diferenças estatisticamente significativas).

De acordo com os resultados do “P-valor” das combinações relacionadas ao teste de “Holm-Sidak”, comprovou-se a rejeição da hipótese nula, constatando a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as combinações que apresentaram valores menores que 0,05, conforme demonstrado Figura 19, em sua respectiva coluna “P-Valor” do quadro de comparações múltiplas.

Na classificação ordenada da “Tabela dos Agrupamentos” da Figura 19, apresenta-se o ranqueamento das médias de cada prática analisada, considerando que elementos “alocados em um mesmo grupo de letras” têm médias (não estatisticamente significativas entre si), por outro lado, elementos “alocados em grupos com diferentes letras” têm médias (estatisticamente significativas entre si).

Figura 18 – Análise Estatística ‘Não-Paramétrica’ das Questões (5 a 17)

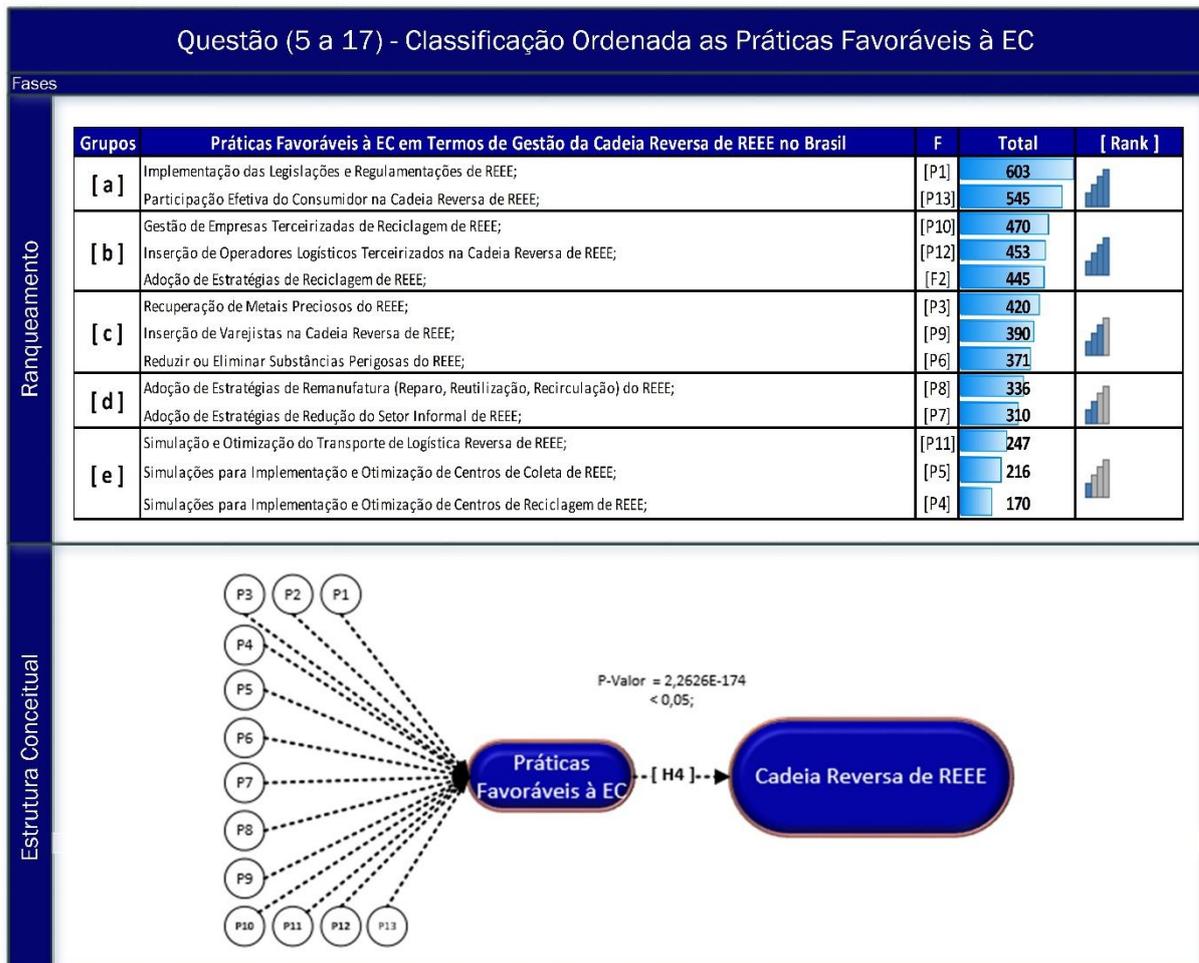
Questões (5 a 17) - Análise Estatística Não-Paramétrica				
<b>Teste de Kruskal-Wallis</b>				
<b>Informação</b>		<b>Valor</b>		
Kruskal-Wallis qui-quadrado		850,6436863		
Graus de Liberdade		12		
P-valor		2,2626E-174		
<b>Tabela da Comparação Múltipla - FWER (Holm-Sidak)</b>				
Práticas Comparadas	Diferença Observada	Estatística	P-valor	P-valor ajustado
P1 - P10	133	1,838066075	0,046052669	0,047760875
P1 - P11	356	6,084414935	1,10E-09	8,19E-08
P1 - P12	150	2,165392911	0,030357608	0,040360875
P1 - P13	58	0,654653671	0,51269076	0,740340675
P1 - P2	158	3,802027088	0,020143517	0,038180471
P1 - P3	183	3,12219443	0,001795083	0,086164006
P1 - P4	433	6,687253656	2,98614E-11	2,26947E-09
P1 - P5	387	6,657242656	2,99E-11	2,37E-09
P1 - P6	232	3,802027088	0,000143517	0,008180471
P1 - P7	293	5,463840252	4,65943E-08	3,35479E-06
P1 - P8	267	4,63293367	3,6052E-06	0,000237943
P1 - P9	213	3,49987924	0,000465469	0,025135325
P10 - P11	223	4,507038733	6,57386E-06	0,000420727
P10 - P12	17	0,327326835	0,743420698	0,888360834
P10 - P2	25	0,528758734	0,596972827	0,840570875
P10 - P3	50	1,284128354	0,004097049	0,005360875
P10 - P4	300	5,463840252	4,65943E-08	3,35479E-06
P10 - P5	254	4,83305443	0,007191396	0,008360875
P10 - P6	99	1,88758734	0,006472827	0,008760875
P10 - P7	160	3,158279999	6,94156E-05	0,00409552
P10 - P8	134	2,794867594	0,005192098	0,007260194
P10 - P9	80	1,712171139	0,006865135	0,007360875
P13 - P11	298	5,690451138	1,26704E-08	9,2494E-07
P2 - P11	198	3,879832658	0,000310425	0,018360875
P11 - P4	77	0,956801519	0,338667446	0,820510372
P11 - P5	31	0,37768481	0,705664753	0,730330814
P7 - P11	63	0,972910379	0,001268952	0,004716577
P8 - P11	89	1,783161248	0,004763333	0,007543564
P12 - P11	206	4,367540759	0,013604473	0,037445587
P13 - P12	92	4,51073924	0,030854901	0,040360875
P12 - P2	8	0,201431899	0,820420239	0,840930521
P12 - P4	283	5,168972658	0,007608364	0,009551304
P12 - P5	237	4,670202709	0,000143517	0,002180471
P12 - P6	82	5,463840252	4,65943E-08	3,35479E-06
P12 - P7	143	3,147373417	0,001647444	0,020724766
P12 - P8	117	2,467540759	0,013604473	0,017445587
P12 - P9	63	1,238725266	2,98614E-11	2,26947E-09
P13 - P2	100	1,712171139	0,036865135	0,040360875
P13 - P3	125	2,467540759	0,013604473	0,430574456
P13 - P4	375	6,215034936	0,03442697	0,040360875
P13 - P5	329	5,248089366	0,001161828	0,006415042
P13 - P6	174	3,147373417	0,001647444	0,020724766
P13 - P7	235	4,702863797	0,007048425	0,008360875
P13 - P8	209	3,978279999	6,94156E-05	0,00409552
P13 - P9	155	2,845225569	0,004437998	0,005271925
P2 - P4	275	4,630906582	0,016026405	0,002360875
P2 - P5	229	4,202147848	0,002539358	0,004360875
P2 - P6	74	1,063961012	0,039534613	0,040360875
P2 - P7	135	2,843077721	0,010988078	0,035112181
P2 - P8	109	2,236634177	0,01170693	0,020360875
P2 - P9	55	1,047373417	0,001647444	0,003724766
P3 - P6	49	0,679832658	0,496610425	0,590160225
P3 - P9	30	0,37768481	0,705664753	0,887320434
P5 - P4	46	0,553937721	0,579621468	0,940870523
P7 - P4	140	1,712171139	0,036865135	0,008608748
P8 - P4	166	2,727540759	0,013604473	0,001574456
P9 - P4	220	3,778279999	6,94156E-05	0,00409552
P7 - P5	94	1,045225569	0,004437998	0,008571925
P8 - P5	120	2,134486329	0,002044524	0,004360875
P9 - P5	174	3,345225569	0,004437998	0,005271925
P9 - P6	19	0,302147848	0,762539358	0,930330356
P8 - P7	26	0,679832658	0,496610425	0,891320575
P9 - P7	80	1,680451138	1,26704E-08	9,2494E-07
P9 - P8	54	1,22073924	0,030854901	0,040360875
<b>Tabela dos Agrupamentos</b>				
Práticas	Soma (Rank)	Grupos		
P1	603	a		
P13	545	a		
P10	470	b		
P12	453	b		
P2	445	b		
P3	420	c		
P9	390	c		
P6	371	c		
P8	336	d		
P7	310	d		
P11	247	e		
P5	216	e		
P4	170	e		

Teste de Kruskal-Wallis

Na interpretação dos resultados apresentados na Figura 18, por meio do algoritmo vinculado ao teste estatístico “Holm-Sidak”, as práticas alocadas no grupo ‘A’ possuem médias maiores que as práticas dos grupos (B, C, D, E), o que denota maior “Grau de Importância” às práticas deste primeiro grupo. Entretanto, estatisticamente, não é possível afirmar que ‘P1’ tenha maior “Grau de Importância” do que ‘P13’, visto que os mesmos fazem parte do grupo ‘A’.

Sendo assim, a prática (Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE) não tem o “Grau de Importância” mais elevado que a prática (Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE), por outro lado, as mesmas têm uma representatividade maior (em termos de “Grau de Importância”), quando comparadas com as demais práticas que se encontram alocadas em grupos diferentes. Seguindo-se essa estrutura lógica, a Figura 19 apresenta a classificação ordenada das práticas favoráveis à EC, seus respectivos grupos e os ranqueamentos das mesmas.

Figura 19 – Questão (5 a 17) – Classificação Ordenada das Práticas



A atribuição mais elevada à prática “Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE” remete às obrigatoriedades preconizadas pela PNRS e o “Acordo Setorial”, as quais atuam como agentes que obrigam o cumprimento de metas de retorno e destinação ambientalmente adequada do REEE por meio da estruturação, implementação, operacionalização e gestão do sistema de logística reversa do lixo eletrônico no Brasil.

Também ao nível mais elevado de representatividade, a “Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE” é fundamental para que o sistema de logística reversa de REEE tenha sucesso em obter a circularidade material e a respectiva melhoria da EC. Sem a participação efetiva do consumidor, que precisa direcionar o REEE aos pontos de coletas, o ciclo reverso não se inicia, e com isso, o REEE não pode receber o tratamento ambientalmente adequado e prover melhorias à EC na realidade brasileira.

Com relação às práticas (Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE; Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE), as quais se encontram bem classificadas nos resultados do ranqueamento, essa atribuição remete ao fato de que, segundo o “Acordo Setorial”, somente serão admitidas para a gestão do REEE na cadeia reversa, empresas que comprovem capacidade técnica para implantação e operacionalização e expansão dessa cadeia reversa no Brasil. Para isso, torna-se necessário a efetivação de parcerias com empresas devidamente habilitadas e estruturadas para o atendimento do aumento de demandas, visto que, metas de retorno do REEE deverão ser cumpridas e comprovadas.

Outra prática bem ranqueada refere-se à “Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE”, a qual representa a necessidade de investimentos em novas tecnologias de reciclagem para fins de efetivar a EC, visto a complexidade para o tratamento do lixo eletrônico. Convergente ao exposto, a “Recuperação de Metais Preciosos do REEE” se destaca pela importância relacionada às práticas de processamento e recuperação de materiais como “ouro, prata, platina e paládio” contidos nas PCIs. Sendo assim, a cadeia reversa de REEE do Brasil, por não ter o domínio sobre essa tecnologia, é obrigada a realizar o envio das PCIs para empresas localizadas no exterior.

Também, bem representativa em termos de importância para a EC, destacou-se a prática “Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE”. No sistema de logística reversa de REEE, o varejista é considerado como um grande parceiro que

pode trazer benefícios para a cadeia reversa de REEE, visto que, o mesmo também poderá ser utilizado como ponto de recebimento do lixo eletrônico.

A próxima prática destacada (Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE), é representada pela importância da destinação ambientalmente adequada do REEE, por meio da operacionalização da cadeia reversa, evitando eventuais impactos ambientais à natureza. Ao operacionalizar a cadeia reversa de uma forma ampla no território brasileiro, os riscos de contaminações e níveis de poluições são minimizados, o que contribui com a EC em termos de prevenção da degradação da natureza e prejuízos ao ecossistema.

No que se refere à importância da prática “Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) de REEE” para a EC, destacam-se as cooperativas, as quais buscam reaproveitar as peças e módulos para a recuperação dos produtos eletrônicos, além do direcionamento dos materiais não reaproveitáveis para a cadeia reversa de REEE, sendo mais um elo favorável à EC no Brasil.

Para a prática (Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE) no segmento de REEE, a importância da mesma para a EC se encontra vinculada a necessidade da criação de estratégias, estímulo e capacitação dos trabalhadores informais, as quais dependem do governo e das entidades legislativas e ambientais, o que pode contribuir com a geração de renda, a redução de impactos ambientais e a melhoria da circularidade material na cadeia reversa de REEE.

Em relação às práticas com menores pontuações de ranqueamento, as quais fazem referência às “simulações matemáticas para a otimização do sistema de transporte, pontos de coleta, centrais de reciclagem de REEE”, tais resultados remetem a inexistência de aplicações na prática operacional, sendo apenas aplicadas na teoria.

Portanto, diante dos resultados estatísticos “não-paramétricos” atribuídos às avaliações das práticas favoráveis à EC, validou-se a hipótese ‘H4’ (O conhecimento do grau de importância das práticas favoráveis à EC permite identificar a relevância das mesmas na gestão da cadeia reversa de REEE no Brasil).

#### 4.3 CONFIGURAÇÃO DA CADEIA REVERSA DE REEE MAIS ADEQUADA PARA PROMOÇÃO DA EC NO BRASIL

De acordo com os resultados atribuídos à “Gestora” de REEE, a qual se apresenta como a configuração mais adequada em termos de condições práticas e viáveis para a gestão da cadeia reversa de REEE para promover a EC, descreve-se nessa subseção a representação esquemática da mesma.

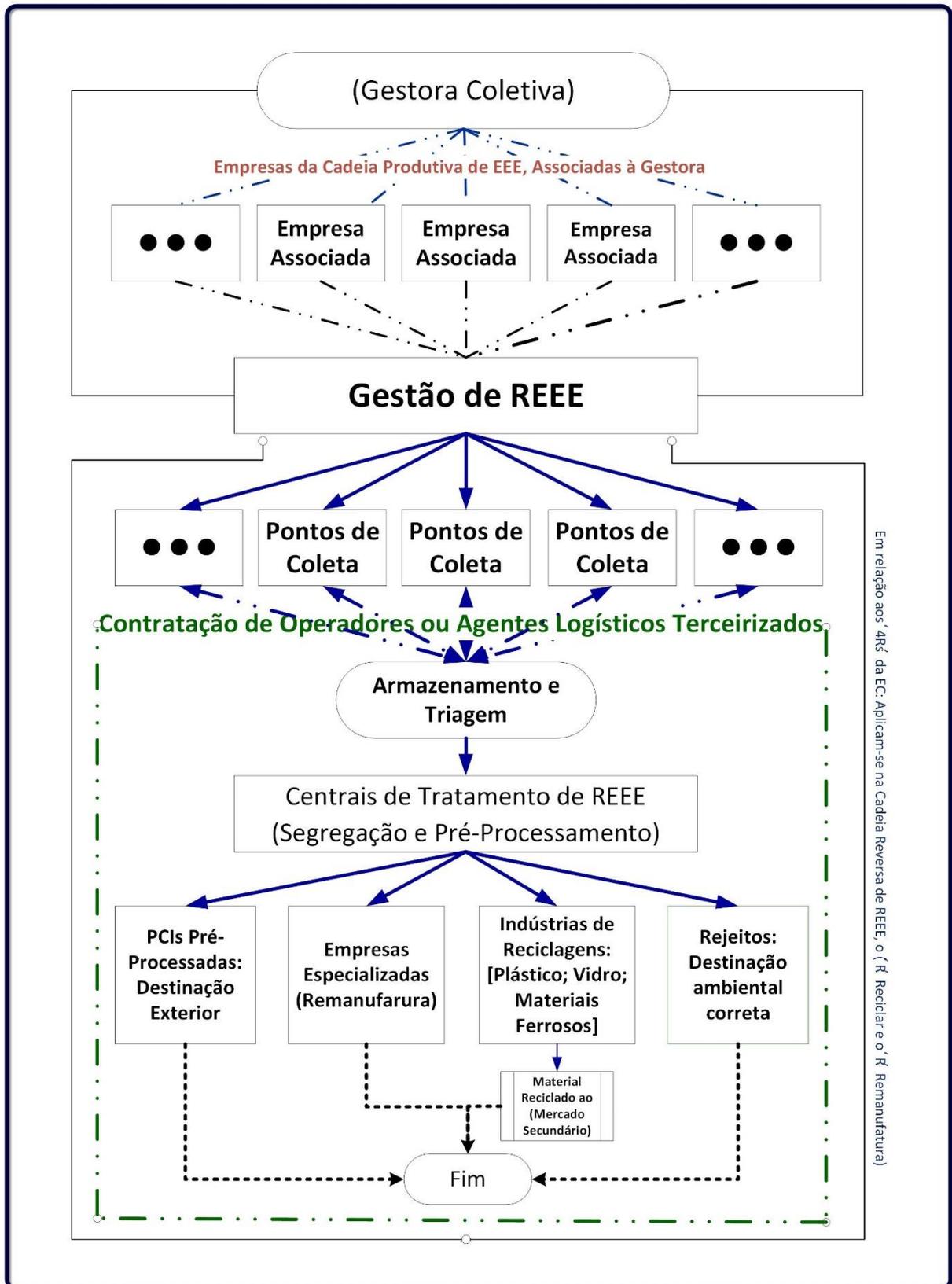
#### **4.3.1. Gestão da Cadeia Reversa de REEE Por Meio do *Player* (Gestora Coletiva)**

De acordo com a representação esquemática da “Gestora” apresentada na Figura 20, a literatura científica (SHI *et al.*, 2019; MATARAZZO *et al.*, 2019) e o “Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos”, a denominam de “Modelo Coletivo” para gestão e operacionalização da cadeia reversa de REEE, sendo a mesma empreendida por meio de pessoas jurídicas, “constituídas por fabricantes, importadoras e / ou associações de fabricantes de EEE” que apresentem condições técnicas de gestão para a implementação e estruturação do sistema de logística reversa.

Conforme o “Acordo Setorial” de eletroeletrônicos no Brasil, a “Gestora” nessa modalidade coletiva, além de operacionalizar e gerir toda a cadeia reversa de REEE, tem como propósito a promoção de estratégias que possam contribuir com EC em termos de circularidade material e a destinação ambientalmente adequada para este tipo de resíduo, atendendo as obrigações da “PNRS” e o seu respectivo “Acordo Setorial” em vigência. Além disso, esse “Modelo Coletivo” tem como uma das prioridades, a expansão do número de empresas da cadeia produtiva de EEE associadas à “Gestora” de REEE, além das demais operacionalizações explicitadas nos parágrafos seguintes desta subseção.

Nos processos de estruturação da cadeia reversa de REEE, a “Gestora Coletiva” efetua a implementação dos pontos de coleta, procurando-se expandir gradualmente o número de instalações no território brasileiro, além de ser responsável pela contratação de operadores logísticos ou agentes logísticos terceirados, os quais são responsáveis pelo transporte logístico do REEE. Após o armazenamento primário do REEE nos pontos de coleta, o próximo passo consiste na retirada e transporte dos resíduos eletroeletrônicos para que sejam realizados, o armazenamento, triagem e o direcionamento dos mesmos às centrais de tratamento do REEE, as quais são responsáveis pelas atividades de segregação e pré-processamento dos resíduos. Ainda nas centrais de tratamento de REEE, os produtos que se encontram em condições de remanufatura são encaminhados para empresas especializadas,

entretanto, os materiais segregados (plásticos, vidros e materiais ferrosos) são direcionados às indústrias específicas para a reciclagem da matéria-prima, as quais são destinadas ao mercado secundário. Ademais, há de se destacar que as PCIs, são somente pré-processadas nas centrais de reciclagem do território brasileiro, as quais direcionam este tipo de material para empresas do exterior, especializadas na extração de metais preciosos. Por final, nas centrais de tratamento de REEE, os detritos não aproveitáveis e considerados rejeitos recebem destinação ambientalmente adequada, de acordo com as normas legislativas vigentes. No que se refere à aplicação prática dos '4Rs' da EC na cadeia reversa brasileira de REEE, ressalta-se que, somente o 'R' Reciclar e o 'R' Remanufatura são aplicados na prática operacional.

Figura 20 – Representação Esquemática do *Player* (Gestora Coletiva)

Fonte: O autor

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a configuração da cadeia reversa de REEE mais adequada para promover a EC no Brasil, refere-se à “Gestora Coletiva”, a qual representa os fabricantes e importadores de EEE, sendo a mesma, responsável por implementar, estruturar e operacionalizar o todo sistema de gestão de REEE na realidade brasileira. Na literatura científica, nenhum trabalho avaliou entre os três *Players* (Fabricante, Gestora, Recicladora), qual é a configuração mais adequada para promover a EC no Brasil. Nos estudos relacionados às atividades de gestão de REEE com base nas Fabricantes (KUMAR E DIXIT, 2009; NETO, CORREIA E SCHROEDER, 2017), nas Gestoras (MATARAZZO *et al.*, 2019; SHI *et al.*, 2019) e nas Recicladoras (ACHILLAS *et al.*, 2012; ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012; ARAS *et al.*, 2015), todos se mostraram favoráveis a promoverem a EC, não distinguindo qual é a configuração mais adequada para promover a EC. Portanto, este trabalho inova e mostra que a configuração relativa à “Gestora Coletiva” cria um sistema de gestão que operacionaliza a logística reversa das empresas de EEE associadas, o que permite o tratamento mais adequado do REEE para promover a EC no Brasil. A adoção das empresas de EEE ao “Modelo Coletivo” permite que as mesmas não tenham que implementar e gerir toda a cadeia reversa de REEE por meio de “Sistemas Individuais”, o que necessitaria de investimentos específicos e individualizados em infraestrutura, recursos humanos, treinamentos, além de conhecimentos técnicos, legislativos e ambientais. Outro aspecto notado, refere-se às empresas de EEE compartilharem todo o sistema de logística reversa da “Gestora Coletiva”, sendo esta, responsável por informar às entidades legislativas e o governo sobre o cumprimento de metas previstas ao retorno do REEE, conforme as exigências da “PNRS” e do “Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Eletroeletrônicos no Brasil”.

Ao considerar o modelo de gestão de REEE da “Gestora Coletiva”, adotado pelas empresas de EEE do Brasil para promover a EC, os resultados indicam que a matéria-prima reciclada é destinada ao “Mercado Secundário”, indústrias específicas na fabricação produtos oriundos de “materiais plásticos, vidros, metais ferrosos e não-ferrosos”, o que denota que os processos de reciclagem são descentralizados, não retornando o material reciclado à cadeia produtiva de eletroeletrônicos. Na literatura científica, nenhuma pesquisa avaliou se o material reciclado é direcionado à cadeia produtiva de eletroeletrônicos ou ao mercado secundário. Shi *et al.* (2019) avaliaram

a acessibilidade e a distribuição de centros de coleta para a otimizar a reciclagem na cadeia reversa como critérios necessários à efetividade de retorno do REEE e a melhoria da circularidade material, mas não estudaram o direcionamento do material reciclado. Marconi *et al.* (2018), desenvolveram uma plataforma computacional teórica como estratégia de gestão de REEE com o intuito de prover melhorias à EC por meio do reaproveitamento do material reciclado, no entanto, não apresentaram o encaminhamento final da matéria-prima secundária. Portanto, este trabalho inova e complementa a pesquisa de Neto, Correia e Schroeder (2017), a qual relatou de forma isolada, o direcionamento dos materiais reciclados ao mercado secundário para promover a EC, estudando uma empresa multinacional de EEE, não abrangendo a gestão da cadeia reversa de REEE brasileira como um todo. Em termos de contribuições práticas, o domínio dos processos descentralizados sob a utilização do material reciclado indica que a cadeia reversa de REEE e as empresas de EEE precisam aprimorar seus processos de reutilização e reciclagem, a fim de criarem uma rede cooperativa em sua completude, fechando-se o ciclo reverso para o reaproveitamento da matéria-prima secundária na cadeia produtiva de EEE.

Para os resultados dos níveis de aplicação prática dos '4Rs' da EC na cadeia reversa de REEE do Brasil, constatou-se nessa cadeia, somente a aplicação do 'R' Reciclar e o 'R' Remanufatura. O primeiro 'R' (Reciclar) mais representativo, sob um nível de aplicação mais elevado, relaciona-se ao reaproveitamento da matéria-prima secundária nas atividades de reciclagem do REEE, o que reduz a necessidade da extração da matéria-prima virgem da natureza devido ao uso proporcional do material secundário (reciclado), contribuindo com a EC. O segundo 'R' (Remanufatura), com menor representatividade em relação ao 'R' (Reciclar), refere-se à recuperação e recirculação de componentes, módulos e produção de novos produtos (produtos secundários) oriundos do REEE, os quais contribuem com a EC por meio da valorização do produto, além de evitar o direcionamento inadequado do lixo eletrônico ao meio ambiente. Para o 'R' (Reduzir) e o 'R' (Reuso), não aplicados na cadeia reversa de REEE, os quais, respectivamente referem-se ao projeto de EEE para o consumo de menos energia ou uso de materiais, além do prolongamento da vida útil do EEE que se encontra obsoleto para alguns usuários, mas atende aos requisitos de outros usuários, a aplicação dos 'Rs' (Reduzir e Reuso) se encontram convergentes com a cadeia produtiva do eletroeletrônico, não abrangendo a cadeia reversa de REEE. Na literatura científica, embora as publicações tenham relacionado práticas de remanufatura (AGRAWAL *et al.*, 2018; ALVES; FARINA, 2018; CORDOVA-PIZARRO

*et al.*, 2019) e práticas de reciclagem (HAGELUKEN *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2016; BRIDGENS *et al.*, 2019), as quais fazem parte dos '4Rs da EC', nenhuma pesquisa avaliou na cadeia reversa de REEE, quais são os níveis de aplicação prática de todos os '4Rs' (Reduzir, Reuso, Remanufatura, Reciclar) da EC. Além disso, esse resultado corrobora com a constatação de Bressanelli *et al.* (2020), os quais afirmam que são necessários planejamentos estratégicos nas atividades vinculadas à cadeia reversa de REEE, a fim de implementar concomitantemente todas as práticas relacionadas aos '4Rs' da EC, o que pode otimizar e preservar a maior parte do valor intrínseco ao produto em fim de vida.

Nos resultados atribuídos às análises das práticas favoráveis à EC, as quais influenciam na gestão da cadeia reversa de REEE para a promover a EC no Brasil, destacaram-se no primeiro grupo de ranqueamento, a prática (Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE) e a prática (Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE). A atribuição mais elevada às legislações e regulamentações de REEE para a EC, corresponde às obrigatoriedades preconizadas pela PNRS e o Acordo Setorial, as quais atuam como agentes intermediários que determinam o cumprimento de metas de retorno e a destinação ambientalmente adequada do REEE, por meio da implementação, estruturação operacionalização e gestão da cadeia reversa do lixo eletrônico no Brasil. Também vinculada ao nível mais elevado como prática favorável à EC, a participação efetiva do consumidor na cadeia reversa de REEE é essencial para que o sistema de logística reversa tenha resultado positivo em obter a circularidade material, visto que, sem a participação do consumidor final, que precisa direcionar o REEE aos pontos de coletas, o ciclo reverso e a reciclagem do REEE não se iniciam. As publicações científicas sobre REEE, as quais relacionaram "Legislações e regulamentações de REEE" (ACHILLAS *et al.*, 2010b; KILIK; CEBECI; AYAN, 2015; LIU *et al.*, 2016; TONG *et al.*, 2018; BRIDGENS *et al.*, 2019) e a "Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE" (ISERNIA *et al.*, 2019), apesar de indicarem estas práticas como favoráveis à EC, nenhum estudo procurou avaliar os níveis de influência das mesmas na gestão da cadeia reversa. Diante disso, os resultados do presente trabalho inovam e corroboram com a "PNRS" e o "Acordo Setorial de Eletroeletrônicos no Brasil", posicionando as "legislações e regulamentações de REEE" e a "participação efetiva do consumidor na cadeia reversa de REEE", nos mais altos níveis de influência em termos de gestão do REEE, as quais atuam como agentes viabilizadores para o cumprimento de metas, obrigatoriedade de estruturação,

implementação e operacionalização do sistema de logística reversa na realidade brasileira com o intuito de promover a EC. Neste “Acordo Setorial” em vigência, a participação efetiva do consumidor é essencial para a viabilização e o sucesso do sistema de logística reversa de REEE no Brasil, já que a decisão de efetuar o descarte correto do lixo eletrônico compete ao consumidor final. Com isso, sem a conscientização efetiva do consumidor, o fluxo logístico do REEE não se inicia, comprometendo a eficácia dos processos vinculados ao tratamento do lixo eletrônico, o que pode ocasionar baixa efetividade à EC.

Dentre as próximas práticas favoráveis à EC melhores ranqueadas (Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE; Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na cadeia reversa de REEE), o “Acordo Setorial” vigente, ao considerar que somente serão admitidas entidades “Gestoras” ou “Fabricantes” de EEE que comprovarem capacidade técnica e de gestão para a implantação e operacionalização do sistema de logística reversa de REEE, torna-se necessário a realização de parcerias com empresas terceirizadas de reciclagem e operadores logísticos para o transporte dos resíduos, devidamente habilitadas, licenciadas e com capacidade de expansão no território brasileiro, além de apresentarem infraestruturas adequadas para o atendimento relacionado ao aumento de demandas. Na literatura científica, Agrawal, Singh e Murtaza (2018) e Sabtu *et al.* (2015), os quais, respectivamente, relacionaram em suas pesquisas, as empresas terceirizadas de reciclagem e a inserção de operadores logísticos na cadeia reversa, os mesmos não procuraram identificar o nível de influência dessas práticas na gestão da cadeia reversa para promover a EC. Portanto, os resultados do presente trabalho ratificam que parcerias experientes entre a gestora, empresas terceirizadas de reciclagem e a inserção de operadores logísticos na cadeia reversa são classificadas entre as escalas mais altas em termos de grau de importância para promover a EC na gestão da cadeia reversa de REEE, garantindo a eficiência dos serviços de coleta, transporte logístico, processos de reciclagem e a destinação ambientalmente adequada, além do atendimento às exigências legais.

Ainda entre as práticas melhores ranqueadas, o resultado do elevado grau de importância das “Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE” remete ao fato de que, atualmente, o Brasil encontra dificuldades para recuperar resíduos que exigem maior grau de complexidade, o que denota a necessidade de investimentos em novas tecnologias de reciclagem do REEE para efetivar a EC. Na literatura científica, embora as publicações (PARAJULY; WENZEL, 2017; WAGNER *et al.*, 2019a; WAGNER *et*

*al.*, 2019b) relacionarem estratégias inovadoras de tratamento e reciclagem como eficaz à EC, as mesmas fazem referência a países europeus. Com isso, este resultado corrobora com o “Acordo Setorial”, o qual ressalta que, no cenário atual, devido à indisponibilidade tecnológica, o Brasil enfrenta dificuldades para o tratamento de resíduos mais complexos, originários do lixo eletrônico.

Ao nível intermediário de ranqueamento, a prática (Recuperação de Metais Preciosos do REEE) é destacada pela importância relacionada às práticas de processamento e recuperação dos metais preciosos contidos nas PCs. Entretanto, a cadeia reversa de REEE brasileira não tem tecnologia necessária para processar e recuperar este tipo de resíduo. Neste contexto, o Brasil necessita de investimentos em transferências de tecnologia avançada de reciclagem para que se possa aproveitar as matérias-primas secundárias (ouro, prata, platina, paládio), promovendo uma EC mais efetiva, além de reter maiores ganhos econômicos ao país. Este resultado complementa a pesquisa de Neto, Correia e Schroeder (2017), os quais, estudando uma multinacional de EEE e seu sistema individual de reciclagem de REEE no Brasil, enfatizaram a necessidade de investimentos em transferências de tecnologias, a fim de recuperar os materiais secundários (metais preciosos).

No mesmo nível intermediário de ranqueamento, a prática (Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE) é favorável à EC no sentido de adesão dos comerciantes de eletroeletrônicos ao sistema de logística reversa da cadeia de REEE. Essa parceria com a Gestora denota importância e traz benefícios em termos de disponibilização de empresas varejistas para a realização do recebimento do lixo eletrônico, servindo de opções adicionais de pontos de coleta do REEE para que o consumidor final faça a entrega do produto eletrônico em fim de vida. Na pesquisa de Wang *et al.* (2018), apesar de relacionar o envolvimento de varejistas na cadeia reversa de REEE como benefício à circularidade material, levou-se em consideração a competitividade entre empresas varejistas e demais instalações de pontos de coletas de REEE, não abrangendo a avaliação do grau de importância dessa prática na cadeia reversa para promover a EC. Portanto, com a criação de metas gradativas de recolhimento e reciclagem preconizada pelo Acordo Setorial de Eletroeletrônicos no Brasil, opções adicionais de pontos de coletas de REEE (empresas varejistas na cadeia reversa) denotam elevado grau de importância com o intuito de alavancar os processos de reciclagem e reutilização dos resíduos, levando a uma EC mais eficaz.

No que se refere à prática (Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas de REEE) ranqueada aos resultados de nível intermediário, a mesma representa

proeminente importância para a EC no sentido de assegurar a destinação final ambientalmente adequada do REEE por meio da gestão e operacionalização da cadeia reversa, evitando e minimizando eventuais impactos ambientais. Os estudos de Alves e Farina (2018), Shi *et al.* (2019), André, Soderman e Nordelof (2019), embora tenham relacionado a mitigação de substâncias perigosas como prática necessária à melhoria da EC, não foi considerado a avaliação do grau de importância desta, em termos de gestão da cadeia reversa de REEE. Portanto, um sistema de gestão da cadeia reversa de REEE bem operacionalizado, denota notável importância, no sentido de contribuir com a diminuição de riscos relacionados a substâncias perigosas (mercúrio, chumbo, cádmio, cromo) danificarem o solo, os recursos hídricos, além de mitigar riscos à saúde humana, favorecendo a EC em termos vinculados a aspectos ambientais.

Para a prática “Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) do REEE”, também relacionada à importância de nível intermediário no ranqueamento, a mesma se encontra favorável à EC, no que diz respeito à inserção de cooperativas na cadeia reversa de REEE, as quais desmontam os equipamentos que recebem, buscando reaproveitar as peças e módulos para a recuperação dos produtos eletrônicos. Nessa etapa de desmontagem, os materiais que não são reaproveitáveis para remanufatura são encaminhados para reciclagem, contribuindo com a circularidade da matéria-prima secundária. Essa estratégia de inserção das cooperativas na cadeia reversa de REEE, é convergente com a PNRS, a qual ressalta a necessidade de planejamentos para a incorporação de cooperativas no sistema de logística reversa de resíduos no Brasil. Os estudos científicos de Alves e Farina (2018) e Cordova-Pizarro *et al.* (2019), apesar de destacarem as estratégias de práticas de remanufatura no sistema de gestão da cadeia reversa, não relataram a importância das cooperativas de REEE para promover a EC. Esse resultado evidencia a importância e a necessidade de incentivo financeiro e tecnológico a essas empresas cooperativas para fins de valorização do produto em fim de vida, contribuindo com a melhoria da circularidade material, além de ganhos econômicos, ambientais e sociais.

Com relação à prática (Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE) no nível intermediário de ranqueamento dos resultados, sua importância para EC no segmento de REEE, refere-se à necessidade do (governo, entidades legislativas e ambientais) em criar estratégias de estímulo e capacitação dos trabalhadores e empresas para essa modalidade de resíduo. Convergente ao exposto, o “Acordo Setorial” preconiza a importância da capacitação, estímulo, incubação e o

fortalecimento institucional de cooperativas, as quais podem contribuir com uma EC mais efetiva na atual realidade brasileira. Na literatura científica, embora as publicações tenham relacionado a necessidade de melhorias nas regulamentações de REEE (Souza *et al.*, 2016; TONG *et al.*, 2018) a fim de diminuir o mercado informal, nenhum estudo procurou evidenciar as estratégias de redução do mercado inserido na informalidade. Essas constatações respondem a lacuna de pesquisa explicitada por Liu *et al.* (2016), os quais enfatizaram a necessidade da elaboração de estratégias e planos para a redução do setor informal, vinculado ao segmento de REEE para promover a EC.

Para as práticas ranqueadas aos níveis mais baixos, em termos de influência na gestão da cadeia reversa para promover a EC, tais como (Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE; Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE), as mesmas se destacam como estratégias pouco valorizadas no setor de REEE, sendo apenas implementadas na teoria. Esse achado é convergente com a literatura científica, a qual mostra que os estudos relacionados a simulações direcionadas ao segmento de REEE e à EC (ACHILLAS *et al.*, 2010b; ARAS *et al.*, 2015; KILIC, CEBECI; AYHAN, 2015) são aplicados na teoria, carecendo aplicações na prática operacional e de gestão da cadeia reversa de REEE.

## 6. CONCLUSÃO

Conclui-se com o presente estudo científico que a configuração mais adequada para promover a EC no Brasil em termos de gestão da cadeia reversa de REEE, refere-se à “Gestora Coletiva”, permitindo que as empresas de EEE associadas não tenham que implantar e operacionalizar “Sistemas Individuais”. No que se refere ao direcionamento do material reciclado com o intuito de promover a EC, constatou-se que a matéria-prima reciclada originária do REEE é destinada ao “Mercado Secundário”, não retornando à cadeia produtiva de eletroeletrônicos, o que caracteriza que os processos de reciclagem são descentralizados.

Com relação aos níveis de aplicação prática dos ‘4Rs’ da EC na cadeia reversa de REEE do Brasil, constatou-se que somente são aplicados na mesma, o ‘R’ Reciclar e o ‘R’ Remanufatura, sendo o primeiro mais representativo, referindo-se ao reaproveitamento da matéria-prima secundária, contribuindo com a EC em termos de redução da necessidade de extração da matéria-prima virgem da natureza. O ‘R’ Remanufatura menos representativo que o primeiro, o qual trata da recuperação de componentes, módulos e produção de novos equipamentos eletroeletrônicos, tem como contribuição para EC, preservar a maior parte do valor intrínseco ao produto em fim de vida, além de evitar o direcionamento do mesmo de forma inadequada ao meio ambiente.

Em relação aos resultados atribuídos às análises das práticas favoráveis à EC, as quais influenciam na gestão da cadeia reversa de REEE para promover a EC no Brasil, as mais representativas fizeram referência à implementação das legislações e regulamentações de REEE e a participação efetiva do consumidor na cadeia reversa, seguido da gestão de empresas terceirizadas para reciclagem, além da inserção de operadores logísticos e estratégias de tratamento e reciclagem.

Dentre as práticas com pontuações de representatividade intermediária em termos favoráveis à EC, destacaram-se a recuperação de metais preciosos de REEE, o envolvimento de varejistas na cadeia reversa, reduzir ou eliminar substâncias perigosas do REEE, adoção de estratégias de práticas de remanufatura (reparo, reutilização, recirculação) do REEE e adoção de estratégias de redução do setor informal de REEE.

Para as práticas com pontuações menores em termos favorecimento à EC para o segmento de REEE, foram destacadas as estratégias de simulações e otimizações para o transporte logístico, centros de coleta e centros de reciclagem.

Diante dos resultados apresentados, esse estudo contribui com a literatura científica relevante, pois não foram encontrados trabalhos que tenham avaliado qual é a configuração mais adequada da cadeia reversa de REEE para promover a EC no Brasil, o direcionamento do material reciclado e a aplicação prática dos '4Rs' da EC, além das práticas favoráveis à EC, as quais influenciam na gestão dessa cadeia reversa, servindo como parâmetros para o desenvolvimento e o aprofundamento de novas pesquisas científicas, vinculadas a cada item mencionado.

O presente estudo científico também contribui com a prática organizacional, indicando a tendência de adesão das empresas de EEE ao "Modelo Coletivo" para a gestão de REEE, o qual se apresentou como o mais favorável a promover a EC no Brasil. As empresas de EEE, ao adotarem essa modalidade de gestão, têm a vantagem do compartilhamento de todo o sistema de logística reversa coordenado pela "Gestora", sendo esta, responsável por estruturar, operacionalizar e gerir toda a cadeia reversa de REEE, além de informar às entidades legislativas e o governo sobre o cumprimento de metas de retorno do lixo eletrônico, conforme preconizado pelas legislações brasileiras. Dentre outras contribuições para a prática no contexto da EC, a constatação dos processos descentralizados sob o uso do material reciclado, indica que a cadeia reversa de REEE e as empresas de EEE precisam aprimorar os seus processos de reciclagem e reutilização da matéria-prima secundária, a fim de criar uma rede cooperativa em sua completude, fechando-se o ciclo reverso, além da absorção do material secundário na cadeia produtiva de EEE.

Em termos de contribuições dessa pesquisa para a sociedade, ao considerar a implementação do "Modelo Coletivo" de gestão de REEE para promover a EC, o estudo também evidencia a necessidade da participação efetiva do consumidor nessa cadeia reversa, sendo o mesmo, fundamental para alavancar a circularidade material do resíduo eletrônico, com a finalidade de fechar o ciclo entre o produto em fim de vida e a matéria-prima reciclada. Diante disso, a conscientização do descarte correto e a participação efetiva do consumidor final são fundamentais para uma EC mais objetiva e sustentável, a fim de trazer benefícios à população.

Para pesquisas futuras, vinculadas à EC, sugere-se estudos que possam quantificar e realizar o balanço de massa da matéria-prima reciclada na cadeia reversa de REEE, após a assinatura do "Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Eletroeletrônicos".

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos – análise de viabilidade técnica e econômica**. Brasília, novembro de 2013.

ACHILLAS, C; VLACHOKOSTAS, C; MOUSSIOPOULOS, T; BANIAS, G. 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, 2010a.

ACHILLAS, C; VLACHOKOSTAS, C; AIDONIS, D; MOUSSIOPOULOS, N; IAKOVOU, E; BANIAS, G. 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, 2010b.

ACHILLAS, C.; AIDONIS D.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPOULOS, N.; BANIAS, G; TRIANTAFILLOU, D. 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.

ACTION, Portal, 2020. **Action Stat.** Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/sobre-o-action>>. Acesso em: 08 Out 2020.

AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. Reverse supply chain issues in Indian electronics industry: a case study. **Journal of Remanufacturing**, v. 8, n. 3, p. 115–129, 26 out. 2018.

ALVES, D. S.; FARINA, M. C. 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.

ANANDH, G.; VENKATESAN, S. P.; GOH, M.; MATHIYAZHAGAN, K. Reuse assessment of WEEE: Systematic review of emerging themes and research directions. **Journal of Environmental Management**, v. 287, 112335, 2021.

ANDRÉ, H.; SÖDERMAN, M. L.; NORDELÖF, A. 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, N.; KORUGAN, A.; BUYUKOZKAN, G.; ŞERİFOĞLU, F. S.; EROL, I.; VELİOĞLU, M. N. Locating recycling facilities for IT-based electronic waste in Turkey. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 324–336, 2015.

ARAÚJO, R. F.; ALVARENGA, L. A. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. **Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Florianópolis, v.16, n.31, 51-70, 2011.

ASSAVAPOKEE, T.; WONGTHATSANEKORN, W. Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, n. 1, p. 129–140, 2012.

BALDÉ, C.P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUERH, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor – 2017**, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna, 2017.

BARDIN, L. **El análisis de contenido**. Madrid: Ediciones Akal, 1986.

BLOMSMA, F.; PIERONI, M.; KRAVCHENKO, M.; PIGOSSO, D. C.A.; HILDENBRAND, J.; KRISTINSDOTTIR, A. R.; KRISTOFFERSEN, E.; SHAHBAZI, S.; NIELSEN, K. D.; JONBRINK, A. K.; LI, J.; WIİK, C.; MCALOONE, T. C. Developing a circular strategies framework for manufacturing companies to support circular economy-oriented innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, 118271, 2019.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Lei n. 12.305, de 02 de Agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília**. Distrito Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)>. Acesso em: 25 Out 2020.

BRESSANELLI, G.; SACCANI, N.; PIGOSSO, D. C. A.; PERONA, M. Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda. **Sustainable Production and Consumption**, v. 23, p. 174-188, 2020.

BRIDGENS, B.; HOBSON, K.; LILLEY, D.; LEE, J.; SCOTT, J. L.; WILSON, G. T. Closing the Loop on E-waste: A Multidisciplinary Perspective. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 169–181, 2019.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. London: Uniwin Hyman, 1989.

CAMPBELL, G.; SKILLINGS, J. H. Nonparametric stepwise multiple comparison procedures. **Journal of the American Statistical Association**, v.80, n.392, 998-1003, 1985.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Visão da Indústria Brasileira sobre a Gestão de Resíduos Sólidos**. Sistema Indústria. Brasília: CNI, 2014.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. Ed.2. New York: Psychology Press, 1988.

CORDOVA-PIZARRO, D.; AGUILAR-BARAJAS, I.; ROMERO, D.; RODRIGUEZ, C. A. Circular economy in the electronic products sector: Material flow analysis and economic impact of cellphone e-waste in Mexico. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 5, 2019.

COUGHLAN, D.; FITZPATRICK, C. Trialling the preparation for reuse of consumer ICT WEEE in Ireland. **Journal of Cleaner Production**, 256, 120512, 2020.

DAS, K.; CHOWDHURY, A. Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix collection. **International Journal of Production Economics**, 135, 209-221, 2012.

DEMSAR, J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine Learning Research, JMLR.org**, v.7, p-1-30, 2006.

EMF - Ellen Macarthur Foundation, 2015. **Rumo à Economia Circular: o racional de negócio para acelerar a transição.** Disponível em:

<[https://ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular\\_Update\\_08-12-15.pdf](https://ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular_Update_08-12-15.pdf)>. Acesso em: 20 Out 2020.

EPRS - European Parliamentary Research Service, 2017. **Towards a circular economy - Waste management in the EU.** Disponível em:

<[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS\\_STU\(2017\)581913\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS_STU(2017)581913_EN.pdf)>. Acesso em: 16 Nov 2020.

ESPOSITO, M.; TSE, T.; SOUFANI, K. Is the Circular Economy a New Fast-Expanding Market? **Thunderbird International Business Review**, 59(1), 9–14, 2015.

EUROPEAN UNION. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).

**Official Journal of the European Union**, v. 46, p. 24-39, 2003.

FORZA, C. Survey research in operation management: a process-based perspective.

**International Journal of Operation & Production Management**, 22, 152-194, 2002.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGATI, S. A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, 114, 11–32, 2016.

HAGELUKEN, C.; LEE-SHIN, J. U.; CARPENTIER, A.; HERON, C. The EU circular economy and its relevance to metal recycling. **Recycling (MDPI)**, v. 1, n. 2, p. 242–253, 2016.

ISERNIA, R.; PASSARO, R.; QUINTO, I.; THOMAS, A. The reverse supply chain of the e-waste management processes in a circular economy framework: Evidence from Italy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 8, 2019.

ITU - International Telecommunication Union, 2016. **Sustainable management of waste electrical and electronic equipment in Latin America.** Disponível em:

<[https://www.unclearn.org/wpcontent/uploads/library/integrated\\_weee\\_management\\_and\\_disposal-395429-normal-e.pdf](https://www.unclearn.org/wpcontent/uploads/library/integrated_weee_management_and_disposal-395429-normal-e.pdf)> Acesso em: 22 Out 2020.

KILIC, H. S.; CEBECI, U.; AYHAN, M. B. Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, n.1, p. 120–132, 2015.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, 127(4), 221-232, 2017.

KITCHENHAM, B. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Software Engineering Group, School of Computer Sciences and Mathematics, Keele University, and Department of Computer Science, University of Durham. [SI], 2007.

KUMAR, A.; DIXIT, G. 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.

LEVANEN, J.; LYYTINEN, T.; GATICA, S. Modelling the Interplay Between Institutions and Circular Economy Business Models: A Case Study of Battery Recycling in Finland and Chile. **Ecological Economics**, v. 154, n. August, p. 373–382, 2018.

LEVIN, R.; RUBIN, D. S. **Estadística para administración y economía**. Pearson Educación, 2004.

LIU, H.; LEI, M. D. H.; KEONG, L, G.; HUANG, T. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy. **Omega (United Kingdom)**, v. 59, p. 290–302, 2016.

LUTHRA, S.; MANGLA, S.K. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety and Environmental Protection**, 117(1), 168–179, 2018.

MARCONI, M.; GREGORI, F.; GERMANI, M.; PAPETTI, A.; FAVI, C. An approach to favor industrial symbiosis: The case of waste electrical and electronic equipment. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 502–509, 2018.

MATARAZZO, A.; TUCCIO, G.; TEODORO, G.; FAILLA, F.; GIUFFRIDA, V. A. Mass balance as green economic and sustainable management in WEEE sector. **Energy Procedia**, v. 157, n. 2018, p. 1377–1384, 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2019. **Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de Uso Doméstico e Seus Componentes**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/images/Acordo%20Setorial/Acordo%20Setorial%20-%20Eletroeletr%C3%B4nicos.pdf>>. Acesso em: 26 Out 2020.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement. **Annals of Internal Medicine**, 151(4), 264-269, 2009.

MORSELETTO, P. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 153, 104553, 2020.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, 140(3), 369–380, 2017.

NEELY, A. The evolution of performance measurement research. **International Journal of Operations & Production Management**, 25(12), 1264–1277, 2005.

NETO, G. C. O.; CORREIA, A. J. C.; SCHROEDER, A. M. 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.

PARAJULY, K.; WENZEL, H. Product family approach in e-waste management: A conceptual framework for circular economy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 5, p. 1–14, 2017.

PINSONNEAULT, Alain; KRAEMER, Kenneth. Survey research methodology in management information systems: an assessment. **Journal of management information systems**, v. 10, n. 2, p. 75-105, 1993.

PRAJAPATI, B.; DUNNE, M.; ARMSTRONG, R. **Sample size estimation and statistical power analyses**. **OtPeerReviewed**, 2010. Disponível em: <[http://www.floppybunny.org/robin/web/virtualclassroom/stats/basics/articles/gpower/Gpower\\_tutorial\\_Prajapati\\_2010-.pdf](http://www.floppybunny.org/robin/web/virtualclassroom/stats/basics/articles/gpower/Gpower_tutorial_Prajapati_2010-.pdf)>. Acesso em: 12 Out 2020.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **Journal of Documentation, USA**, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: Reverse Logistics Executive Council, 1998.

SABTU, M. I.; SAIBANI, N.; RAMLI, R.; RAHMAN, M. N. A. Multi-criteria decision making for reverse logistic contractor selection in e-waste recycling industry using polytomous rasch model. **Jurnal Teknologi**, v. 77, n. 27, p. 119–125, 2015.

SHI, J.; CHEN, W.; ZHOU, Z.; ZHANG, G. A bi-objective multi-period facility location problem for household e-waste collection. **International Journal of Production Research**, v. 0, n. 0, p. 1–20, 2019.

SHITTU, O. S.; WILLIAMS, I. D.; SHAW, P. 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.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, J. R. N. J. **Estatística Não-Paramétrica para Ciências do Comportamento**. São Paulo: ArtmedBookman, 2006.

SONG, Q; WANG, Z.; LI, J.; ZENG, X. The life cycle assessment of an e-waste treatment enterprise in China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 15, n. 4, p. 469–475, 2013.

SOUZA, R. G.; CLÍMACO, J. C. N.; SANT'ANNA, A. P.; ROCHA, T. B.; VALLE, R. A. B.; QUELHAS, O. L. G. Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. **Waste Management**, v. 57, p. 46–56, 2016.

STAHEL, W. R. **The circular economy: A user's guide**. London: Routledge, 2019.

TONG, X.; WANG, T.; CHEN, Y.; WANG, Y. Towards an inclusive circular economy: Quantifying the spatial flows of e-waste through the informal sector in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, n.1, p. 163–171, 2018.

UN - United Nations, 2015. **Resolution adopted by the General Assembly - Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1)**. Disponível em

<<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>>. Acesso em: 08/02/2021.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2015. **Waste Crime - Waste Risks Gaps in Meeting the Global Waste Challenge**: a Rapid Response Assessment. Disponível em: <<http://www.unep.org/publications/>> Acesso em: 26 Out 2020.

WAGNER, F.; PEETERS, J. R.; KEYZER, J. D.; JANSSENS, K.; DUFLOU, J. R.; DEWULF, W. Towards a more circular economy for WEEE plastics – Part A: Development of innovative recycling strategies. **Waste Management**, v. 100, p. 269–277, 2019a.

WAGNER, F.; PEETERS, J. R.; KEYZER, J. D.; JANSSENS, K.; DUFLOU, J. R.; DEWULF, W. 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, 2019b.

WANG, W.; ZHOU, S.; ZHANG, M.; SUN, H.; HE, L. A closed-loop supply chain with competitive dual collection channel under asymmetric information and reward-penalty mechanism. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 7, 2018.

XAVIER, L. H.; LINS, F. A. F. Mineração urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. **Brasil Mineral**, n. 379, p. 22-26, 2018.

YUAN, Z.; BI, J.; MORIGUICHI, Y. The circular economy: a new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, 10(1–2), 4–8, 2006.

**APÊNDICE 1** – Questionário de pesquisa direcionado a profissionais que representam as fabricantes e importadoras de eletroeletrônicos (gerentes, gestores e supervisores da área de sustentabilidade) das empresas.

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Ao prezado (a) participante: \_\_\_\_\_ São Paulo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Nome do Profissional Respondente: \_\_\_\_\_

Cargo do Profissional Respondente: \_\_\_\_\_

Tempo de atuação na área: \_\_\_\_\_

Nome da Empresa: \_\_\_\_\_

Possui alguma capacitação específica na área de sustentabilidade, gestão, entre outras?

(  ) SIM? Qual? \_\_\_\_\_

#### ACEITAÇÃO DE PARTICIPAÇÃO EM PESQUISAS ACADÊMICAS

Eu, **Auro de Jesus Cardoso Correia**, estudante e pesquisador do curso de Pós-Graduação Stricto Sensu de Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, estou realizando uma pesquisa sob supervisão do Professor **Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto**.

O presente instrumento de pesquisa tem como propósito coletar informações sobre a gestão da cadeia reversa de resíduos eletroeletrônicos, buscando-se avaliar entre os três Players (Fabricante; Gestora; Recicladora), qual é a configuração mais adequada para promover a Economia Circular no Brasil, além dos níveis de aplicação prática dos '4Rs da Economia Circular' nessa cadeia reversa e o direcionamento do material reciclado, conforme apresentado nas questões de (1 a 4).

Buscar-se-á também avaliar a importância de algumas práticas, as quais influenciam na gestão da cadeia reversa para a promoção da Economia Circular no Brasil, conforme apresentado nas questões de (5 a 17).

As informações coletadas irão contribuir com o desenvolvimento de um estudo científico que resultará como parte de uma Tese de Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE.

A participação nesse estudo é voluntária, se o respondente decidir não participar ou quiser desistir, terá a liberdade, a qualquer momento.

Salienta-se que, na publicação desta pesquisa, a identidade do respondente e os dados que possam identificar a empresa serão mantidos no mais rigoroso sigilo, de tal forma que serão omitidas todas as informações que permitam identificá-los.

Afirma-se que, sua participação nesta pesquisa irá contribuir para a compreensão do fenômeno estudado e para a produção do conhecimento científico.

Quaisquer dúvidas em relação à pesquisa poderão ser esclarecidas pelo Pesquisador Doutorando ou pelo Prof. Orientador responsável nos seguintes contatos. **Doutorando:** [aurojc@gmail.com.br](mailto:aurojc@gmail.com.br) - **Orientador:** [geraldo.neto@uni9.pro.br](mailto:geraldo.neto@uni9.pro.br)

## Questionário (Bloco 1): Questões enumeradas de (1 a 4)

1 - Qual é o "Grau de Importância" dos *Players* (Fabricante; Gestora; Recicladora) em termos de condições práticas e viáveis na Gestão da Cadeia reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular no Brasil?

\* **Observação:** Para cada *player*, escolha uma posição entre (1 e 7), sendo que o número 7 tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o número 1 é sem importância.

	1	2	3	4	5	6	7
A - Fabricante	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
B - Gestora	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
C - Recicladora	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

\* (Opcional) Descrição de observações importantes, caso o especialista queira complementar a resposta:

( \_\_\_\_\_ )  
 \_\_\_\_\_ )

**Nota:** Para que o especialista possa responder a questões 2, sugere-se a leitura do Quadro abaixo, o qual exemplifica os conceitos relacionados às práticas '4Rs' da Economia Circular.

4Rs	Práticas	Conceitos Relacionados aos '4Rs' da Economia Circular
R.1	REDUZIR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comumente relacionado ao projeto do produto de modo que o mesmo possa ser desenvolvido para consumir menos energia;</li> <li>• Rotulagem ecológica (selos que certificam e atestam que determinado material ou produto atua de acordo com normas ou diretrizes que respeitam o meio ambiente);</li> <li>• Redução ou eliminação de substâncias tóxicas aplicadas a produtos ou materiais;</li> </ul>
R.2	REUSO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prolongamento da vida útil do produto, de modo que o mesmo possa ser reutilizado por um prazo maior, mitigando a geração de resíduos;</li> <li>• Relativo à recirculação dos produtos que ainda estão em boas condições de uso;</li> <li>• Produto que se encontra obsoleto para alguns usuários, mas atende aos requisitos de outros, estendendo a vida útil do equipamento;</li> </ul>
R.3	REMANUFATURA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperação e recirculação de peças e componentes;</li> <li>• Produção de novos produtos (secundários) por meio do uso de peças descartadas;</li> <li>• Criação de novos módulos por meio do uso de peças recondiçionadas, oriundas do produto descartado;</li> </ul>
R.4	RECICLAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaproveitamento da matéria-prima por meio de estratégias de reciclagem;</li> <li>• Reduz a necessidade do uso da matéria-prima virgem devido ao uso da matéria-prima secundária (reciclada);</li> <li>• Diminui a extração da matéria-prima virgem a ser retirada da natureza devido ao uso proporcional da matéria-prima secundária;</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Blomsma et al., (2019) e Morseletto (2020)

**2 - Ao considerar a gestão da cadeia reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil e a relação com as práticas 4Rs da Economia Circular. Quais são os níveis de aplicação prática para cada um dos '4Rs' (Reduzir, Reuso, Remanufatura, Reciclar) da Economia Circular na cadeia reversa?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior aplicação, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem aplicação.

**Especificar o nível de aplicação prática para cada um dos 4Rs da Economia Circular**

<i>Reduzir</i>							<i>Reuso</i>							<i>Remanufatura</i>							<i>Reciclar</i>						
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]		

(Aplicação Prática dos 4Rs da Economia Circular na Cadeia Reversa de REEE do Brasil)

\* (Opcional) Descrição de observações importantes, caso o especialista queira complementar a resposta:

( \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ )

**3 - Considere a possibilidade do seguinte cenário: O *Player* (Fabricante ou Gestora ou Recicladora) faz a gestão do Resíduo Eletroeletrônico nos processos "coleta, armazenamento, triagem, pré-processamento e envio às centrais de reciclagem" que direciona os materiais reciclados ao "mercado secundário", contribuindo com a promoção da Economia Circular no Brasil.**

**Qual é o grau de importância de cada *Player* em termos de condições possíveis de serem realizadas neste contexto apresentado?**

\* **Observação:** Para cada *player*, escolha uma posição entre (1 e 7), sendo que o número 7 tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o número 1 é sem importância.

	1	2	3	4	5	6	7
A - Fabricante	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
B - Gestora	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
C - Recicladora	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

\* (Opcional) Descrição de observações importantes, caso o especialista queira complementar a resposta:

( \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ )

-----

**4 - Considere a possibilidade do seguinte cenário: O *Player* (Fabricante ou Gestora ou Recicladora) faz a gestão do Resíduo Eletroeletrônico nos processos "Coleta, armazenamento, triagem, pré-processamento e envio às centrais de reciclagem" que direciona os materiais reciclados às "fabricantes de eletroeletrônicos", contribuindo com a promoção da Economia Circular no Brasil.**

**Qual é o grau de importância de cada *Player* em termos de condições possíveis de serem realizadas neste contexto apresentado?**

\* **Observação:** Para cada *player*, escolha uma posição entre (1 e 7), sendo que o número 7 tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o número 1 é sem importância.

	1	2	3	4	5	6	7
A - Fabricante	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
B - Gestora	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
C - Recicladora	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

\* (Opcional) Descrição de observações importantes, caso o especialista queira complementar a resposta:

( \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ )

-----

## Questionário (Bloco 2): Questões enumeradas de (5 a 17)

---

**5 - Qual é o "Grau de Importância" da Prática (Implementação das Legislações e Regulamentações de REEE) em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

**6 - Qual é o "Grau de Importância" da Prática (Adoção de Estratégias de Reciclagem de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

**7 - Qual é o "Grau de Importância" da Prática (Recuperação de Metais Preciosos do REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

-----

**8 - Qual é o "Grau de Importância" da Prática (Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Reciclagem de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

-----

**9 - Qual é o "Grau de Importância" da Prática (Simulações para Implementação e Otimização de Centros de Coleta de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

-----

**10 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Reduzir ou Eliminar Substâncias Perigosas do REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

-----

**11 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Adoção de Estratégias de Redução do Setor Informal de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

-----

---

**12 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Adoção de Estratégias de Remanufatura (Reparo, Reutilização, Recirculação) do REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

**13 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Inserção de Varejistas na Cadeia Reversa de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

**14 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Gestão de Empresas Terceirizadas de Reciclagem de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

**15 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Simulação e Otimização do Transporte de Logística Reversa de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
 [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
 (Grau de Importância desta prática)

---

---

**16 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Inserção de Operadores Logísticos Terceirizados na Cadeia Reversa de REEE), em termos de influência na gestão da Cadeia Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos para promover a Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
(Grau de Importância desta prática)

---

**17 - Qual o "Grau de Importância" da Prática (Participação Efetiva do Consumidor na Cadeia Reversa de REEE), em termos de influência na gestão dessa cadeia para a promoção da Economia Circular?**

\* **Observação:** Para cada item abaixo, escolha uma opção entre (1 e 7), sendo que 7 é o que tem a maior importância, 6 o segundo maior, e assim sucessivamente, de modo que o item 1 é sem importância.

1 2 3 4 5 6 7  
[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]  
(Grau de Importância desta prática)

---