



Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas – FACE  
Programa de Pós-graduação em Administração – PPGA

**ESTRATÉGIAS PARA A REVALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS  
ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL: APLICANDO PRINCÍPIOS DA ECONOMIA  
CIRCULAR**

RAPHAEL SALVIANO DE SOUZA

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Guarnieri.

Brasília – DF  
2023



Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas – FACE  
Programa de Pós-graduação em Administração – PPGA

**ESTRATÉGIAS PARA A REVALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS  
ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL: APLICANDO PRINCÍPIOS DA ECONOMIA  
CIRCULAR**

RAPHAEL SALVIANO DE SOUZA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração.

Comissão examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Guarnieri  
Orientadora (Universidade de Brasília – PPGA/UnB)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Pagani  
Examinadora externa (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR)

Prof. Dr. Karim Marini Thomé  
Examinador externo (Universidade de Brasília – PPGA/UnB)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simone Sehnem  
Examinadora externa (Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul) – Suplente

Brasília – DF, 18 de setembro de 2023.

*“Freedom in a commons brings ruin to all”.*  
The Tragedy of the Commons, Garrett Hardin (1968)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em especial, aos meus pais, Maurício e Lenita, e à minha irmã, Thatiane, pelo apoio material e emocional que me permitiram dar, não apenas este, mas todos os passos que me trouxeram até este momento.

À minha orientadora, Professora Patrícia Guarnieri, que me acompanha desde a graduação e por quem eu tenho profundo respeito e admiração. Agradeço pela paciência, pela dedicação e pelo exemplo.

A todos os participantes da pesquisa, que voluntariamente dedicaram parte do seu precioso tempo para contribuir com a construção do conhecimento.

Aos professores que compuseram a banca examinadora. Agradeço a cuidadosa avaliação do trabalho e as excelentes recomendações sugeridas com vistas ao refinamento desta dissertação.

Aos brilhantes pesquisadores e pesquisadoras que conheci no PPGA/UnB e no GEALOGS/UnB, que dedicam suas vidas à ciência. Agradeço pelas experiências e conhecimentos compartilhados.

Aos amigos que conheci durante os dois anos de mestrado no PPGA/UnB – em especial, Raíssa, Yuri, Abner e Carmen –, com quem compartilhei as alegrias e as angústias da pós-graduação desde o início do curso. Agradeço por contribuírem para que esta experiência fosse ainda mais valiosa.

Aos demais amigos, companheiros de vida, que estiveram presentes ao longo da jornada, sempre compreensíveis e generosos com eventuais ausências. Agradeço pela alegria compartilhada nos bons momentos e pelo apoio dado nos demais. *“A vida é boa, mas é muito melhor com você(s)”*.

Agradeço, por fim, ao Sr. Demerval Bruzzi, meu mentor e incentivador à realização deste e de tantos outros projetos.

## RESUMO

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE atualmente figuram como um dos fluxos de resíduos sólidos urbanos em mais rápido crescimento no Brasil e no mundo. Segundo a Green Eletron (2021), somente 3% dos REEE gerados no país são reintroduzidos nas cadeias de valor formal. Ademais, os efeitos do acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos brasileiro, estabelecido em 2019, são reativos ao lixo gerado no pós-consumo. Assim, não existem disposições que discorram sobre os processos de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos. Neste cenário, a economia circular vem recebendo especial atenção entre acadêmicos e profissionais por promover o fechamento do ciclo de vida dos produtos e a criação de novos modelos de negócio que contribuem com o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável. O objetivo desta dissertação é propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos. Para tanto, realizou-se uma pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, de abordagem qualitativa, dividida em duas etapas. Primeiramente, na etapa teórica, realizou-se uma revisão integrativa da literatura apoiada no protocolo *Methodi Ordinatio*. Posteriormente, na etapa empírica, foram realizadas entrevistas semiestruturadas individuais (n = 12) com *stakeholders* do acordo setorial para produtos de equipamentos eletroeletrônicos. Os insumos coletados nas entrevistas possibilitaram o emprego do método de estruturação de problemas SODA (do inglês, *Strategic Options Development and Analysis*), que prevê a elaboração de mapas cognitivos individuais e posterior agregação em um mapa único a partir validação pelos participantes da pesquisa. Por fim, verificou-se que, partindo do conceito de economia circular, existem diferentes estratégias de retenção, adição e recuperação de valor que podem ser aplicadas para aprimorar a cadeia de revalorização de REEE no Brasil. Apesar da ênfase nas fases de *design* e fabricação de equipamentos, essas estratégias perpassam pela revisão do arcabouço normativo, especialmente relacionado à tributação do material proveniente dos processos de desmontagem e separação. A pesquisa contribui em termos práticos com um conjunto de propostas à formulação de políticas públicas para a aprimorar a cadeia de reciclagem de REEE, em termos científicos ao explorar as lacunas identificadas na literatura recente e em termos metodológicos ao testar a aplicação da abordagem SODA para a estruturação de um problema no contexto brasileiro.

Palavras-chave: *Economia circular; resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; REEE; lixo eletrônico; Strategic Options Development and Analysis; SODA.*

## ABSTRACT

Waste from electrical and electronic equipment – WEEE currently figures as one of the fastest-growing municipal solid waste streams in Brazil and in the world. According to Green Eletron (2021), only 3% of WEEE generated in the country is reintroduced into formal value chains. In addition, the effects of the sectoral agreement for the implementation of a reverse logistics system for Brazilian electrical and electronic products, established in 2019, are reactive to the waste generated in the post-consumption period. Thus, no provisions discuss the design and manufacturing processes of electrical and electronic equipment. In this scenario, the circular economy has been receiving special attention among academics and professionals for promoting the closing of the life cycle of products and the creation of new business models that contribute to economic growth and sustainable development. This dissertation aims to propose strategies to improve the national WEEE revaluation chain through the institutionalization of circular economy principles in the design and manufacturing phases of electrical and electronic equipment. To this end, an applied, exploratory, and descriptive research was carried out, with a qualitative approach divided into two stages. First, an integrative literature review was performed in the theoretical stage based on the *Methodi Ordinatio* protocol. Subsequently, in the empirical stage, individual semi-structured interviews (n = 12) were conducted with stakeholders of the sectoral agreement for electrical and electronic equipment products. The inputs collected in the interviews enabled the use of the SODA (Strategic Options Development and Analysis) problem structuring method, which elaborates individual cognitive maps and subsequent aggregation into a single map from validation by the research participants. Finally, it was found that starting from the concept of circular economy, different strategies of retention, addition, and recovery of value can be applied to improve the chain of revaluation of WEEE in Brazil. Despite the emphasis on the design and manufacturing phases of equipment, these strategies go through the revision of the normative framework, especially related to the taxation of material from the disassembly and separation processes. The research contributes in practical terms with a set of proposals for the formulation of public policies to improve the WEEE recycling chain, in scientific terms by exploring the gaps identified in the recent literature, and in methodological terms by testing the application of the SODA approach to the structuring of a problem in the Brazilian context.

**Keywords:** *Circular economy; waste electrical and electronic equipment; WEEE; e-waste; Strategic Options Development and Analysis; SODA.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arcabouço normativo do acordo setorial para equipamentos eletroeletrônicos ....	26
Figura 2 – Fluxo da economia circular .....	30
Figura 3 – Níveis do desenvolvimento de produtos com <i>design</i> circular.....	31
Figura 4 – Exemplo de mapa cognitivo elaborado a partir da aplicação do método SODA....	41
Figura 5 – Procedimentos técnicos da pesquisa .....	45
Figura 6 – Etapas do Protocolo <i>Methodi Ordinatio</i> .....	47
Figura 7 – Fluxograma de etapas para a composição do portfólio de artigos científicos.....	50
Figura 8 – Histograma da distribuição do Índice <i>Ordinatio</i> dos artigos científicos.....	51
Figura 9 – Indicadores econômicos referentes ao setor de eletroeletrônicos .....	70
Figura 10 – Volume de REEE gerado no Brasil por ano.....	71
Figura 11 – Conhecimento da população sobre o lixo eletrônico .....	72
Figura 12 – Distribuição dos participantes por tipo de organização .....	72
Figura 13 – Distribuição dos participantes por tempo de experiência na organização .....	73
Figura 14 – Distribuição dos participantes por nível de escolaridade.....	74
Figura 15 – Distribuição dos participantes por área de formação .....	74
Figura 16 – Número de publicações acumulado nos últimos 8 anos.....	77
Figura 17 – Tipo de publicação dos artigos identificados na RIL.....	78
Figura 18 – Contexto geográfico das publicações.....	79
Figura 19 – Rede de palavras-chave dos autores.....	80
Figura 20 – Nuvem de palavras do entendimento dos entrevistados acerca do conceito de economia circular .....	94
Figura 21 – Mapa cognitivo individual do ENT001 .....	95
Figura 22 – Mapa cognitivo individual do ENT002 .....	96
Figura 23 – Mapa cognitivo individual do ENT003 .....	97
Figura 24 – Mapa cognitivo individual do ENT004 .....	98
Figura 25 – Mapa cognitivo individual do ENT005 .....	99
Figura 26 – Mapa cognitivo individual do ENT006 .....	100
Figura 27 – Mapa cognitivo individual do ENT007 .....	101
Figura 28 – Mapa cognitivo individual do ENT008 .....	101
Figura 29 – Mapa cognitivo individual do ENT009 .....	102
Figura 30 – Mapa cognitivo individual do ENT010 .....	103
Figura 31 – Mapa cognitivo individual do ENT011 .....	104
Figura 32 – Mapa cognitivo individual do ENT012 .....	105
Figura 33 – Mapa cognitivo agregado.....	106

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Portfólio de artigos científicos incluídos na RIL.....	58
Tabela 2 – Periódicos com o maior número de publicações .....	78

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos EEE .....	21
Quadro 2 – Fases de evolução do conceito de economia circular .....	28
Quadro 3 – Principais diretrizes para o <i>design</i> circular identificadas na literatura .....	34
Quadro 4 – Mecanismos de mudança isomórfica institucional .....	36
Quadro 5 – Características dos PSM .....	39
Quadro 6 – Esquema tipológico da pesquisa .....	44
Quadro 7 – Chaves de busca às bases de dados .....	48
Quadro 8 – Estrutura do instrumento qualitativo de pesquisa .....	60
Quadro 9 – Juízes do instrumento qualitativo de pesquisa .....	61
Quadro 10 – Modificações realizadas na versão original do roteiro de entrevista semiestruturada .....	67
Quadro 11 – <i>Stakeholders</i> identificados em levantamento inicial .....	68
Quadro 12 – Relação dos participantes entrevistados .....	75
Quadro 13 – Recomendações para pesquisas futuras identificadas na RIL .....	83
Quadro 14 – Principais gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira citados pelos entrevistados .....	86
Quadro 15 – Entendimento dos entrevistados acerca do conceito de economia circular .....	94
Quadro 16 – Construtos do tipo <i>head</i> do mapa agregado .....	107
Quadro 17 – Opções estratégicas integrantes do primeiro <i>cluster</i> – recuperação de valor ....	108
Quadro 18 – Opções estratégicas integrantes do segundo <i>cluster</i> – adição de valor .....	109
Quadro 19 – Opções estratégicas integrantes do terceiro <i>cluster</i> – retenção de valor .....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABRADISTI	Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação
ABREE	Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ASSESPRO	Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNS	Conselho Nacional de Saúde
EEE	Equipamentos eletroeletrônicos
EMF	<i>Ellen MacArthur Foundation</i>
EoL	<i>End-of-Life</i>
EPR	<i>Extended Producer Responsibility</i>
IDC	Instituto de Direito Coletivo
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
LIB	<i>Lithium-ion battery</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Mt	Megatonelada
OE	Objetivo específico
OR	<i>Operational Research</i>
PEV	Ponto de entrega voluntária
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POP	Poluente Orgânico Persistente
PSM	<i>Problem structuring method</i>
REEE	Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos
RIL	Revisão integrativa de literatura
RSU	Resíduo sólido urbano
SDG	<i>Sustainable development goal</i>
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SJR	<i>Scimago Journal Rank</i>
SLR	Sistema de Logística Reversa
SNIP	<i>Source Normalized Impact per Paper</i>
SODA	<i>Strategic Options Development and Analysis</i>
WEEE	<i>Waste from electrical and electronic equipment</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. Formulação do problema .....	14
1.2. Pergunta de pesquisa.....	15
1.3. Objetivo da pesquisa.....	16
1.3.1. Objetivo geral .....	16
1.3.2. Objetivos específicos .....	16
1.4. Justificativa .....	16
1.5. Estrutura do trabalho.....	18
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Equipamentos eletroeletrônicos – EEE .....	19
2.2. Ambiente institucional normativo brasileiro .....	22
2.3. Economia circular .....	27
2.4. Estruturação do campo organizacional .....	35
2.5. Métodos de estruturação de problemas.....	37
<b>3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....</b>	<b>43</b>
3.1. Caracterização metodológica da pesquisa .....	43
3.2. Procedimentos técnicos para a pesquisa teórica .....	45
3.3. Procedimentos técnicos para a pesquisa empírica .....	59
3.4. Caracterização do setor.....	70
3.5. Caracterização dos participantes.....	72
3.6. Cuidados éticos com a pesquisa .....	75
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
4.1. Princípios da economia circular referentes às fases de <i>design</i> e fabricação de equipamentos na literatura.....	77
4.2. Gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira.....	83
4.3. Alternativas para a institucionalização dos princípios da economia circular nas fases de <i>design</i> e fabricação de equipamentos.....	93
4.3.1. Mapas cognitivos individuais .....	94
4.3.2. Mapa cognitivo agregado .....	105
4.4. Contribuição das alternativas levantadas aos gargalos mapeados da cadeia de revalorização de REEE brasileira .....	110
<b>5. SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>115</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>122</b>
<b>8. APÊNDICES .....</b>	<b>136</b>
APÊNDICE A – Roteiro de entrevista semiestruturada.....	136

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	139
APÊNDICE C – Relação de construtos do mapa cognitivo agregado .....	140

## 1. INTRODUÇÃO

Os avanços resultantes do desenvolvimento tecnológico observado nas últimas décadas provocaram o aumento do consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos, que se tornaram parte essencial da vida cotidiana. Embora sua disponibilidade e uso amplamente difundidos contribuam para melhores padrões de vida em escala global, a maneira com que são produzidos, consumidos e descartados é insustentável – sobretudo, em função do curto ciclo de vida dos produtos e da insuficiente oferta de alternativas de reparo (Forti *et al.*, 2020).

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE ou, simplesmente, lixo eletrônico (na língua inglesa *waste from electrical and electronic equipment* – WEEE ou *e-waste*) atualmente figuram como um dos fluxos de resíduos sólidos urbanos – RSU em mais rápido crescimento no Brasil e no mundo e que se tornaram um problema tanto para países desenvolvidos, quanto para países em desenvolvimento (Nowakowski & Mrówczyńska, 2018; Ottoni *et al.*, 2020).

Em 2019, o volume de REEE produzido em todo o planeta somou 53,6 Mt, equivalente a uma média de 7,3 kg *per capita*. Esse montante representa um aumento de 15% em relação a 2014 e que, segundo as projeções, deverá dobrar até 2030. Em números absolutos, o continente americano é o segundo maior produtor de REEE do mundo (atrás apenas da Ásia) com uma geração de 13,1 Mt em 2020. Destes, apenas 9,4% tiveram sua destinação documentada, isto é, formalmente coletada e submetida a procedimentos de reciclagem. O Brasil é responsável por uma fatia equivalente a 16,36% de todo o lixo derivado de equipamentos eletroeletrônicos do continente, o que o posiciona como o segundo maior produtor de REEE das Américas, com uma média *per capita* equivalente a 10,2 kg (Forti *et al.*, 2020).

A preocupação concernente ao aumento desse tipo de resíduo é justificada por alguns fatores. Conforme apontam Ottoni, Dias e Xavier (2020), por derivarem de dispositivos com composições diversas, o processo de gestão e tratamento dos REEE é complexo e caro, uma vez que os materiais demandam métodos e técnicas de separação e extração de valor distintos. Além disso, em sua composição podem ser encontrados elementos, que se dispostos inadequadamente, oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente, como metais pesados e Poluentes Orgânicos Persistentes – POP.

Forti *et al.* (2020) e Ongondo *et al.* (2011) acrescentam o potencial econômico disponível nos REEE, visto que na composição dos dispositivos podem ser encontrados metais de alto valor, como ouro e platina, que se devidamente extraídos e tratados podem ser

reinseridos na cadeia produtiva. O tratamento adequado desse tipo de resíduo tem o potencial de diminuir o uso de matérias primas virgens na produção de novos equipamentos e, conseqüentemente, reduzir o impacto negativo provocado pelo aumento do consumo e acúmulo de resíduos (Cucchiella *et al.*, 2015).

Neste cenário, a economia circular – EC vem recebendo especial atenção entre acadêmicos e profissionais por promover o fechamento do ciclo de vida dos produtos e a criação de novos modelos de negócio que contribuem com o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável (Gharibi & Abdollahzadeh, 2021; Kirchherr *et al.*, 2017). As agendas políticas de governos nacionais europeus e asiáticos, principalmente, e supranacionais, como da União Europeia, introduziram regulamentações alicerçadas no conceito de EC visando contribuir com a produção e o consumo sustentável de equipamentos eletroeletrônicos, por meio da prevenção da geração de REEE; da promoção do reuso, da reparação, e da reciclagem dos equipamentos; e, do controle da disposição adequada de rejeitos para incineração (Bressanelli *et al.*, 2020; Karagiannopoulos *et al.*, 2022).

Quando comparado a outros países da América Latina e do Caribe, região na qual nove países já possuem regulações para a gestão de resíduos sólidos, o Brasil é considerado pioneiro no estabelecimento de bases para a implementação de um *framework* regulatório formal para os REEE, e destaca-se por contemplar a inserção dos catadores de lixo nos processos de logística reversa, diferentemente do que é observado nos países desenvolvidos (Fernandes *et al.*, 2021; Forti *et al.*, 2020; Guarnieri *et al.*, 2020). Se comparado a países desenvolvidos, contudo, o Brasil se encontra em um estágio inicial na adoção de medidas para o gerenciamento efetivo dos REEE em função, por exemplo, da falta de informações confiáveis, do grau de informalidade das atividades do setor, e da ausência de sistemas de logística reversa – SLR na maioria dos municípios brasileiros (Ottoni *et al.*, 2020), fazendo com que a maior parte dos resíduos produzidos no país tenha uma destinação ambientalmente inadequada que gera impactos negativos para todo o ecossistema (Fernandes *et al.*, 2021).

### **1.1. Formulação do problema**

O ambiente institucional normativo brasileiro carece de normativos que abordem explicitamente o conceito da EC tal como no Japão, na China e na Alemanha, cuja legislação data do ano de 2012 e baseia-se no princípio da responsabilidade estendida do produtor, do inglês *extended producer responsibility* – EPR (Xavier *et al.*, 2021). Caiado *et al.* (2017) comentam que a legislação brasileira, diferente da maioria dos países europeus, optou pela

responsabilidade compartilhada do ciclo de vida dos produtos, ao invés da EPR, cuja principal diferença é o ator responsabilizado pela obrigatoriedade da coleta e transporte do lixo descartado pelo consumidor (Polzer *et al.*, 2016).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída por efeito da Lei nº 12.305/2010, estabelece um conjunto de objetivos, princípios e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos, incluídos os REEE (Brasil, 2010). Na prática, conforme previsto na PNRS, essas inovações devem ser implementadas com a assinatura dos acordos setoriais, configurados como atos de natureza contratual firmados entre os atores envolvidos na cadeia de suprimentos para a instituição da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (Brasil, 2010). O acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes foi estabelecido em 2019, embora a legislação determinasse a obrigatoriedade do estabelecimento desse instrumento desde sua instituição, e representou um passo relevante para a institucionalização de medidas adequadas para a destinação e o tratamento de REEE provenientes de equipamentos colocados no mercado interno.

Seus efeitos, contudo, são reativos ao lixo produzido no pós-consumo. Assim, não existem disposições que discorram sobre os processos de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos a fim de promover, por exemplo, a aplicação de materiais menos deletérios e que não produzam rejeitos ao final do ciclo de vida, ou ainda, que concebam a reintrodução de equipamentos e componentes usados nas cadeias de produção.

Segundo a Green Eletron (2021), somente 3% dos REEE produzidos no país são reintroduzidos nas cadeias de valor formal e, quando isto ocorre, materiais de alto valor provenientes de placas de produtos eletroeletrônicos são exportados para reciclagem industrial, enquanto à indústria nacional são destinados apenas os materiais de menor valor presentes na composição dos equipamentos, como plásticos e vidro (EMF, 2017). O estudo “Uma economia circular no Brasil”, elaborado pela *Ellen MacArthur Foundation – EMF* em 2017 apontou o *design* como um dos fatores críticos para isso, visto que sua concepção prioriza e otimiza os produtos para a fase do uso, sem devidamente considerar os procedimentos de recuperação do valor no pós-consumo.

## **1.2. Pergunta de pesquisa**

Diante da problemática apresentada, formulou-se a seguinte pergunta de pesquisa: como aprimorar a cadeia de revalorização de REEE nacional por meio da institucionalização de

princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos?

### **1.3. Objetivo da pesquisa**

#### **1.3.1. Objetivo geral**

A presente pesquisa tem como objetivo geral propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

São objetivos específicos – OE da presente pesquisa:

- Identificar na literatura os princípios da economia circular referentes às fases de *design* e fabricação de equipamentos (OE 1);
- Mapear os gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira na visão de diferentes *stakeholders* (OE 2);
- Levantar alternativas para a institucionalização dos princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos junto a diferentes *stakeholders* (OE 3); e
- Analisar a contribuição das alternativas levantadas aos gargalos mapeados da cadeia de revalorização de REEE brasileira (OE 4).

### **1.4. Justificativa**

A proposição de estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de REEE contribui para a priorização de ações que favoreçam a transição para um modelo circular, especialmente no contexto de países em desenvolvimento, como o Brasil, onde as políticas e regulamentações do setor encontram-se em fases iniciais de implementação. O estudo da EMF (2017) sugere que a transição para a EC no Brasil tem potencial para gerar oportunidades de inovação e criação de valor com benefícios econômicos, sociais e ambientais em diversas atividades econômicas e encoraja o desenvolvimento de pesquisas adicionais sobre a temática.

O Brasil ainda não possui um plano efetivo para a implementação da economia circular e sua transição ocorre forma incremental e reativa, tornando necessária a adoção de medidas

institucionalizadas que considerem os aspectos tecno-econômicos da economia circular para produzir resultados efetivos no envolvimento com todas as partes envolvidas. Seus benefícios, conforme demonstrado por Schroeder *et al.* (2019), contribuem diretamente para o alcance de 21 metas dos SDGs (do inglês, *sustainable development goals*, ou objetivos de desenvolvimento sustentável), dentre os quais mantém forte relação com o SDG 12, referente ao consumo e à produção responsáveis.

Em observância à legislação nacional, o estudo de Guarnieri e Kremer (2019, p. 15) propõe uma agenda de pesquisas futuras que recomenda a realização de “estudos que analisem os acordos setoriais da PNRS do Brasil sob o ponto de vista da transição para a economia circular”. A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE (2017) destaca que a PNRS, por meio da instituição do princípio da logística reversa, contribui com a economia circular na medida em que possibilita a redução do resíduo descartado inadequadamente e a recuperação de materiais, mas destaca como os próximos desafios do setor o aumento do volume de REEE coletado e a integração do conceito da economia circular na fabricação de novos equipamentos, de forma a torna-los mais facilmente recicláveis e empregando uma quantidade menor de componentes de difícil tratamento.

Cabe ressaltar que vários estudos foram conduzidos acerca das definições e implicações conceituais da economia circular relacionadas à indústria de eletroeletrônicos e seus resíduos nos últimos anos (Anandh *et al.*, 2021; Bressanelli *et al.*, 2020, 2021; Shittu *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2021). Contudo, Bressanelli *et al.* (2020) identificaram a existência de uma lacuna relacionada às fases de *design* e fabricação dos equipamentos. Analogamente, o estudo de Guarnieri *et al.* (2016) sobre a análise da logística reversa de REEE no caso brasileiro detectou a inexistência de estudos com foco na etapa do *design* dos equipamentos.

Neste sentido, visando estimular o progresso e a superação de barreiras à ampla adoção dos princípios da economia circular no setor de equipamentos eletroeletrônicos – EEE no Brasil, a EMF (2017) recomenda a criação de mecanismos para influenciar processos de *design*, de forma a facilitar os procedimentos de desmontagem, reforma e remanufatura nas cadeias de revalorização nacionais.

Essa problemática é caracterizada pela existência de múltiplos atores e perspectivas com interesses conflitantes e incomensuráveis, além de incertezas relevantes. Esses aspectos a definem como um problema não-estruturado, sobre o qual compete a utilização de métodos de estruturação de problemas, do inglês *problem structuring methods* – PSM, para o seu tratamento e gerenciamento (Mingers & Rosenhead, 2004). O uso de PSM possibilita a compreensão e o

endereçamento de soluções a problemas perversos (“*wicked problems*”), isto é, não-otimizáveis e que dão suporte à tomada de decisões para o planejamento, neste caso, de políticas públicas (Ackermann *et al.*, 2014).

Inclusive, o estudo de Guarnieri *et al.* (2016) acerca dos problemas relacionados à implementação do acordo setorial de eletroeletrônicos no Brasil, propõe o uso da metodologia *Strategic Options Development Analysis* – SODA para especificar variáveis relevantes que suportam o processo de tomada de decisão neste contexto.

Espera-se, portanto, que as contribuições da presente pesquisa possam:

- Em termos **práticos**, oferecer recomendações a organizações e tomadores de decisões do poder público para o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE no Brasil por meio da transição para a economia circular, a fim de que sejam gerados benefícios à sociedade em geral;
- Em termos **científicos**, ampliar a compreensão sobre as implicações econômicas, sociais e ambientais da economia circular na cadeia de revalorização de REEE; e
- Em termos **metodológicos**, testar a aplicação de um PSM para a estruturação e o endereçamento de soluções a um problema perverso em um dado contexto socioeconômico.

### **1.5. Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado em seis seções. A primeira refere-se à presente introdução. A segunda refere-se ao referencial teórico no qual a pesquisa está fundamentada. A terceira seção refere-se aos métodos e técnicas de pesquisa empregados. A quarta e a quinta seções referem-se, respectivamente, à apresentação dos resultados e à discussão do autor. A sexta seção, por fim, refere-se às considerações finais. Na sequência são apresentados as referências e os apêndices desta dissertação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção do trabalho apresenta as bases conceituais nas quais a pesquisa está fundamentada, necessárias às discussões posteriores, a saber: i) os equipamentos eletroeletrônicos – EEE; ii) o ambiente institucional normativo brasileiro; iii) a economia circular; iv) a estruturação do campo organizacional; e, v) os métodos de estruturação de problemas (*problem structuring methods*).

Vale ressaltar que as bases conceituais apresentadas nesta seção se referem ao marco teórico da área de conhecimento. O delineamento do estado da arte, enquanto um dos objetivos específicos desta investigação (OE 1), será apresentado na seção 5 do presente trabalho, referente aos resultados das pesquisas teórica e empírica que compõem esta dissertação.

### 2.1. Equipamentos eletroeletrônicos – EEE

A conceituação dos equipamentos eletroeletrônicos – EEE está, em certo nível, condicionada ao contexto político-geográfico de análise, visto que mantém estreita relação com as disposições técnicas e normativas do ambiente institucional para a gestão da cadeia de suprimentos. A diretiva de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos da União Europeia (2002/96/CE), por exemplo, sugere que EEE são

equipamentos cujo adequado funcionamento depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1.000 V para corrente alternada e 1.500 V para corrente contínua (União Europeia, 2003, art. 3º).

Essa diretiva visa à redução da quantidade de REEE a serem eliminados por meio da prevenção de sua geração e da reutilização, da reciclagem e de outras formas de valorização, estabelecendo diretrizes para o recolhimento e o tratamento dos resíduos pelos Estados-membro do bloco econômico. Nela, os EEE são classificados em 10 categorias distintas, a saber: i) grandes eletrodomésticos; ii) pequenos eletrodomésticos; iii) equipamentos informáticos e de telecomunicações; iv) equipamentos de consumo; v) equipamentos de iluminação; vi) ferramentas elétricas e eletrônicas (com exceção de ferramentas industriais fixas de grandes dimensões); vii) brinquedos e equipamentos de desporto e lazer; viii) aparelhos médicos (com exceção de produtos implantados e infectados); ix) instrumentos de monitorização e controle; e, x) distribuidores automáticos (Forti *et al.*, 2020; União Europeia, 2003).

No Brasil, a definição constante no texto do acordo setorial para EEE os compreende como dispositivos de uso doméstico que dependem de correntes elétricas com tensão nominal

não superior a 240 V para seu adequado funcionamento (Brasil, 2019). Embora o acordo setorial brasileiro para EEE não apresente uma classificação para os equipamentos, tal como na diretiva europeia, um de seus anexos relaciona uma lista não exaustiva de mais de 200 produtos identificados com código da Nomenclatura Comum do Mercosul – NCM comercializados no mercado brasileiro.

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE, entidade participante do acordo setorial, sugere uma classificação deste tipo de equipamento em 11 categorias, a saber: i) automação industrial; ii) componentes elétricos e eletrônicos; iii) dispositivos móveis de comunicação; iv) equipamentos de segurança; v) eletrônica; equipamentos industriais; vi) geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; vii) informática; viii) material elétrico de instalação; ix) serviço de manufatura em eletrônica; x) telecomunicações; e, xi) utilidades domésticas eletroeletrônicas (ABINEE, 2017). Vale ressaltar, contudo, que a classificação proposta pela ABINEE extrapola a compreensão de EEE para além do uso doméstico, ao incluir categorias compostas por equipamentos de uso industrial. Especificamente para a classificação dos EEE de uso doméstico, conforme previsto no acordo setorial, a classificação proposta pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI tem sido mais utilizada. Nela, os EEE são agrupados em quatro linhas distintas de acordo com a expectativa de vida útil, o porte e a variedade dos componentes utilizados na construção, a saber: i) a linha verde; ii) a linha marrom; iii) a linha branca; e, iv) a linha azul, conforme apresentado no quadro a seguir (ABDI, 2013).

Linha	Características			Exemplos de equipamentos
	Vida útil	Porte	Composição	
Verde	Curta (~2 a 5 anos)	Pequeno (~0,09 kg a 30 kg)	Bastante diversa (compostos de metais e plástico, principalmente).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desktop;</li> <li>• Notebook;</li> <li>• Impressora; e</li> <li>• Aparelho celular.</li> </ul>
Marrom	Média (~5 a 13 anos)	Médio (~1 kg a 35 kg)	Compostos de plástico e vidro, principalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Televisor tubo/monitor;</li> <li>• Televisor plasma/LCD;</li> <li>• DVD/VHS; e</li> <li>• Equipamento de áudio.</li> </ul>

Linha	Características			Exemplos de equipamentos
	Vida útil	Porte	Composição	
Branca	Longa (~10 a 15 anos)	Grande (~30 kg a 70 kg)	Pouco diversa (compostos de metais, principalmente).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geladeira;</li> <li>• Refrigerador/ congelador;</li> <li>• Fogão;</li> <li>• Lava-roupas; e</li> <li>• Ar-condicionado.</li> </ul>
Azul	Longa (~10 a 15 anos)	Pequeno (~0,5 kg a 5 kg)	Compostos de plástico, principalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batedeira;</li> <li>• Liquidificador;</li> <li>• Ferro elétrico; e</li> <li>• Furadeira.</li> </ul>

**Quadro 1 – Classificação dos EEE**  
Fonte: ABDI (2013).

A produção e o uso desses equipamentos exigem o consumo de uma quantidade significativa de recursos diversos, como cobre, ouro e prata, além de materiais críticos como tungstênio, nióbio e cobalto (Brito *et al.*, 2022; Ottoni *et al.*, 2020). De maneira indistinta, os metais ferrosos, isto é, aqueles preciosos e de terras raras, representam quase a metade do peso dos EEE, enquanto a outra metade é representada por outros materiais, como plástico e vidro. Entretanto, por se tratarem de equipamentos diversos, cada categoria de EEE tem suas particularidades e, por isso, justifica-se a necessidade de uma classificação adequada para fins da gestão da cadeia de suprimentos, incluindo dos resíduos gerados ao final da vida útil desses equipamentos, de sua fabricação, venda ou consumo, chamados de REEE ou lixo eletrônico (ABINEE, 2017; ABRELPE, 2021; União Europeia, 2003).

De acordo com o Monitor Global de Lixo Eletrônico 2020, embora o consumo de EEE e, conseqüentemente, o montante de lixo gerado por pessoa tenha aumentado em todo o mundo (0,9 kg mais em 2019, em comparação com 2014), a taxa de reciclagem não acompanha na mesma proporção. Estima-se que somente 17,4% do lixo eletrônico global seja documentado, coletado e tratado, enquanto o destino de 82,6% do fluxo global desses resíduos não é documentado e sua destinação e impacto são desconhecidos (Forti *et al.*, 2020). Os fatores que influenciam a reciclagem em um dado contexto socioeconômico são variados, mas as baixas taxas de reciclagem são historicamente atribuídas à baixa demanda, à falta de infraestrutura adequada, às desvantagens econômicas quando comparada à extração de matérias-primas

virgens e ao uso dissipativo (muito pouco dos metais extraídos nos processos de reciclagem industrial podem ser reintroduzidos nas cadeias de valor formais) (Gaustad *et al.*, 2018).

No Brasil, o consumo por este tipo de equipamento observou um *boom* de crescimento nas últimas décadas, grandemente estimulado por incentivos fiscais e de crédito. Em 2012, 2 milhões de toneladas de EEE foram introduzidas no mercado brasileiro, que geraram 1,4 milhões de toneladas de REEE, que equivale a uma média de 7 kg por habitante (ABRELPE, 2021; União Europeia, 2003).

A criticidade dos RSU provenientes de EEE está associada a variedade de tipos de produtos e de recursos aplicados em seu processo de manufatura, que tornam a separação e a extração de valor complexa, uma vez que diferentes métodos e processos de tratamento precisam ser empregados. Soma-se a isso a dificuldade em obter licenciamento ambiental para lidar com esse tipo de resíduos, visto que alguns equipamentos ainda podem conter elementos perigosos, como metais pesados e POP, que oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Cucchiella *et al.*, 2015; Ottoni *et al.*, 2020).

Ademais, as limitadas práticas de reciclagem e recuperação dos materiais e componentes existentes nos EEE têm como consequência o não reaproveitamento e reinserção das matérias-primas utilizadas para a fabricação dos EEE na cadeia produtiva, requerendo-se a extração de recursos naturais por meio das atividades de mineração (ABINEE, 2017). A *Ellen MacArthur Foundation – EMF* (2017) adiciona que, mesmo quando são reintroduzidos em cadeias de valor formais, o mercado brasileiro recebe somente materiais de menor valor, como plásticos, visto que os materiais de alto valor que integram placas de produtos eletroeletrônicos, contendo metais preciosos e semipreciosos, são exportados para reciclagem industrial no mercado internacional.

## **2.2. Ambiente institucional normativo brasileiro**

O ambiente institucional normativo brasileiro, no que diz respeito à gestão de resíduos e à reciclagem, encontra-se em um momento de implementação de *frameworks* regulatórios relevantes, definidos por força da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Rebehy *et al.*, 2019).

A PNRS, cuja tramitação prolongou-se por cerca de 20 anos no Congresso Nacional, define um conjunto de princípios, objetivos e instrumentos que devem ser adotados para a gestão de resíduos sólidos ambientalmente adequada e integrada pelos entes federativos (Brito *et al.*, 2022; Guarnieri *et al.*, 2020). Rebehy *et al.* (2019) argumentam que, embora as discussões

sobre questões ambientais e gestão de resíduos no Brasil tenham se iniciado consideravelmente posteriores aos países desenvolvidos, os princípios preconizados pela PNRS brasileira são consistentes e alinhados àqueles observados nos países desenvolvidos.

Entretanto, a legislação brasileira, diferente da maioria dos países europeus, optou pela responsabilidade compartilhada do ciclo de vida dos produtos, ao invés da EPR, cuja principal diferença é o ator responsabilizado pela obrigatoriedade da coleta e transporte do lixo descartado pelo consumidor (Caiado *et al.*, 2017; Polzer *et al.*, 2016).

A abordagem da responsabilidade compartilhada proposta pela PNRS sugere que todos as partes envolvidas da sociedade, isto é, representantes do setor privado (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes), consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos possuem atribuições individualizadas para reduzir a quantidade de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para minimizar os impactos do ciclo de vida dos produtos à saúde humana e à qualidade ambiental (Brasil, 2010; Oliveira *et al.*, 2019). A diretiva europeia para a gestão de resíduos, por outro lado, fomenta o princípio de EPR para todos os tipos de produtos e materiais, que se configura como uma política que responsabiliza fabricantes e importadores pelo impacto ambiental dos seus produtos em todo o ciclo de vida, incluída as etapas de extração de matérias-primas, fabricação, distribuição, tratamentos pós-consumo e disposição final (Polzer *et al.*, 2016).

Ademais, a PNRS em si não especifica metas quantitativas e prazos para a implementação de seus princípios (Xavier *et al.*, 2021). Esses aspectos devem ser estabelecidos por meio dos acordos setoriais, definidos como “atos de natureza contratual firmados entre o poder público e fabricantes, importadores distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto” (Brasil, 2010, art. 3º).

O acordo setorial para SLR de produtos elétricos e eletrônicos de uso doméstico e pessoal e seus componentes foi firmado em 2019 entre o poder público e entidades do setor privado e regulamentado em nível federal, posteriormente, por efeito do Decreto nº 10.240/2020 (Brasil, 2019, 2020; Xavier *et al.*, 2021). A logística reversa, nos termos da legislação nacional, é compreendida como

instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2010, art. 3º).

Sinteticamente, o SLR de equipamentos eletroeletrônicos é composto pelas seguintes principais etapas (MMA, 2022):

1. Descarte dos equipamentos eletroeletrônicos sem uso em pontos de entrega voluntária – PEV pelo consumidor;
2. Recebimento e armazenamento adequado dos equipamentos descartados nos PEV ou em pontos de consolidação temporariamente, para posterior destinação final ambientalmente adequada;
3. Transporte dos equipamentos eletroeletrônicos descartados dos PEV até os pontos de consolidação ou diretamente até a destinação final ambientalmente adequada;
4. Transporte dos equipamentos eletroeletrônicos descartados dos pontos de consolidação até a destinação final ambientalmente adequada; e
5. Destinação final ambientalmente adequada dos equipamentos eletroeletrônicos descartados por meio de reutilização, reciclagem, recuperação e/ou disposição final ambientalmente adequada.

A implementação dos SLR, conforme definido no acordo setorial, deve ocorrer em cinco fases, para as quais foram estabelecidas metas de coleta e destinação, e de municípios atendidos. Para o ano 1 (2021), esperava-se coletar e destinar 1% de todo o volume produtos eletroeletrônicos de uso doméstico vendidos no mercado nacional no ano-base de 2018, além de possibilitar o atendimento de 24 municípios por meio dos SLR. Para o ano 2 (2022) as metas estabelecidas foram 3% de coleta e destinação de EEE e 68 municípios atendidos. Para o ano 3 (2023), as metas foram 6% e 186 municípios. Para o ano 4 (2024), as metas foram 12% e 294 municípios. Para o ano 5 (2025), por fim, as metas estabelecidas foram 17% e 400 municípios atendidos pelos SLR (Brasil, 2019). Xavier *et al.* (2021) sugerem que essas metas são baixas se considerados o potencial do Brasil para desenvolver SLR estruturados e as taxas de coleta e destinação de outros países.

Vale ressaltar que a realidade brasileira enfrenta uma série de desafios à implementação do acordo setorial, dentre os quais estão a ausência de SLR para REEE adequados na maior parte das cidades do país (Ottoni *et al.*, 2020). Rebehy *et al.* (2019) destacam que, do ponto de vista da indústria, os principais desafios são: i) a concentração de empresas de reciclagem nas regiões sul e sudeste do Brasil, que aumentam os custos de transporte dos resíduos provenientes de outras regiões do país; ii) os altos custos operacionais relacionados à logística, à recuperação e à venda dos materiais; iii) o baixo valor agregado dos itens recuperados comparado aos altos

custos da operação; iv) a grande dispersão geográfica dos resíduos; e, v) o incipiente apoio governamental para a coleta seletiva. Do ponto de vista do governo, os principais desafios são: i) a baixa capacidade institucional dos municípios; ii) as baixas taxas de sustentabilidade financeira; iii) a baixa capacidade de auditoria das entidades públicas; iv) a falta de incentivos fiscais e de crédito para a logística reversa e para a reciclagem; v) a baixa adesão de todos os *stakeholders* do setor privado ao acordo setorial; e, vi) a falta de comunicação com os cidadãos sobre os custos da gestão dos resíduos e da importância de sua atuação ativa (Rebehy *et al.*, 2019).

Sob esta perspectiva, outros dois marcos regulatórios nacionais vêm contribuir com o endereçamento dos desafios existentes no contexto brasileiro: i) o Decreto nº 11.043/2022, que aprovou o Plano Nacional de Resíduos Sólidos; e, ii) a Lei nº 14.260/2021, que estabelece incentivos à indústria da reciclagem e cria os Fundos de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecicle) e de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecicle).

Os planos, do ponto de vista do processo de políticas públicas, são documentos elaborados na etapa de implementação da política que contém as análises situacionais e diagnósticos necessários à identificação dos programas e projetos necessários para a atuação resolutiva dos entes governamentais sobre os problemas identificados, estabelecendo objetivos, estratégias e metas de forma ampla e abrangente (Saravia & Ferrarezi, 2006). O Plano Nacional de Resíduos Sólidos, neste sentido, aborda diferentes SLR, incluindo o de eletroeletrônicos, com a finalidade de diagnosticar a sua situação atual; viabilizar a gestão de resíduos sólidos por meio do desenvolvimento de planos de gestão nas diferentes esferas de governo; e, estruturar de um sistema de informações que permita o acompanhamento, o monitoramento e a avaliação da implementação da PNRS (MMA, 2022).

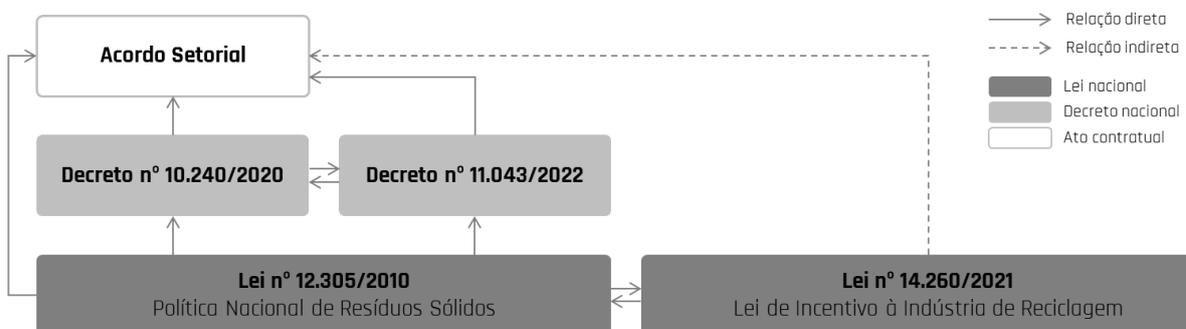
A Lei nº 14.260/2021, por sua vez, embora não tenha relação direta com o acordo setorial vai ao encontro do art. 44 da PNRS, que dispõe sobre a instituição de normas para a concessão de incentivos fiscais, financeiros ou creditícios a indústrias do setor de reciclagem, projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, e empresas atuantes no serviço de limpeza urbana (Brasil, 2010, 2021). Assim, a Lei de Incentivo à Indústria de Reciclagem contribui para (Brasil, 2021, art. 3º):

- capacitação, formação e assessoria técnica, inclusive para a promoção de intercâmbios, nacionais e internacionais, para as áreas escolar/acadêmica, empresarial, associações comunitárias e organizações sociais que explicitem

como seu objeto a promoção, o desenvolvimento, a execução ou o fomento de atividades de reciclagem ou de reuso de materiais;

- incubação de microempresas, de pequenas empresas, de cooperativas e de empreendimentos sociais solidários que atuem em atividades de reciclagem;
- pesquisas e estudos para subsidiar ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- implantação e adaptação de infraestrutura física de microempresas, de pequenas empresas, de indústrias, de cooperativas e de associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- aquisição de equipamentos e de veículos para a coleta seletiva, a reutilização, o beneficiamento, o tratamento e a reciclagem de materiais pelas indústrias, pelas microempresas, pelas pequenas empresas, pelas cooperativas e pelas associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- organização de redes de comercialização e de cadeias produtivas, e apoio a essas redes, integradas por microempresas, pequenas empresas, cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- fortalecimento da participação dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas cadeias de reciclagem; e
- desenvolvimento de novas tecnologias para agregar valor ao trabalho de coleta de materiais reutilizáveis e recicláveis.

A figura a seguir ilustra as relações entre os marcos do arcabouço normativo do acordo setorial para equipamentos eletroeletrônicos do ambiente institucional normativo brasileiro.



**Figura 1 – Arcabouço normativo do acordo setorial para equipamentos eletroeletrônicos**

Fonte: Autoria própria (2022).

### 2.3. Economia circular

Embora tenha se tornado pauta relevante das discussões políticas, empresariais e acadêmicas nos países industrializados, não há um consenso claro quanto ao conceito de economia circular – EC, visto que vários atores sociais o influenciam e o compreendem sob diferentes abordagens conflitantes (Friant *et al.*, 2021; Kirchherr *et al.*, 2017; Reike *et al.*, 2018; Schroeder *et al.*, 2019). Nos últimos dez anos, várias revisões dedicaram-se ao estudo do conceito de EC (Blomsma & Brennan, 2017; Ghisellini *et al.*, 2016; Kirchherr *et al.*, 2017; Reike *et al.*, 2018), inclusive relacionando-o a contextos alheios, como indústria produtiva (Lieder & Rashid, 2016), desenvolvimento sustentável (Geissdoerfer *et al.*, 2017; Sauvé *et al.*, 2016) e modelos de negócios (Lewandowski, 2016; Murray *et al.*, 2017).

A definição de EC mais proeminente foi proposta pela Fundação *Ellen MacArthur*, que a caracteriza como um sistema restaurativo e regenerativo por concepção que objetiva manter a mais alta utilidade e valor de produtos, componentes e materiais (Bressanelli *et al.*, 2018; EMF, 2013).

Buscando aprofundar a compreensão acerca do conceito de EC, o estudo de Kirchherr *et al.* (2017) analisou uma amostra de 114 definições citadas na literatura acadêmica e profissional codificadas em 17 dimensões, que consideraram os princípios centrais da EC (*frameworks* “R” e perspectivas de sistemas), os seus objetivos e habilitadores de modelos de negócio. De forma geral, os autores concluíram que o conceito é compreendido sob três dimensões principais: i) o *framework* 3R; ii) a perspectiva de sistemas; e, iii) a prosperidade econômica. Essas dimensões estão presentes, por exemplo, na definição proposta por Lieder e Rashid (2016, p. 37), que compreendem a EC como

realização do fluxo de material em circuito fechado em todo o sistema econômico [...] em associação com os chamados princípios 3R (reduzir, reutilizar e reciclar) [...] que minimiza a matéria, o fluxo de energia e a deterioração ambiental sem restringir o crescimento econômico ou o progresso social e técnico.

Reike *et al.* (2018) identificaram a existência de duas escolas de pensamento sobre a EC. Os pesquisadores da escola transformacional reivindicam o conceito como sendo uma quebra de paradigma na maneira como as coisas são feitas ou um novo caminho à industrialização. Por outro lado, os pesquisadores da escola reformista advogam em favor de uma nova perspectiva na abordagem dos recursos e da circularidade, sem necessariamente a absoluta redução dos recursos utilizados nos processos produtivos ou da modificação da ordem econômica vigente. Ademais, ao analisar a evolução do entendimento sobre EC na literatura acadêmica, os autores destacaram que a abordagem da circularidade era aplicada em várias

partes do mundo há muito tempo antes da noção sobre o conceito em si e observaram a existência de três distintas fases históricas que levaram à sua atual compreensão teórica, conforme sintetizado no quadro a seguir.

<b>Fase</b>	<b>Economia circular 1.0</b>	<b>Economia circular 2.0</b>	<b>Economia circular 3.0</b>
Período	Entre as décadas de 1970 e 1990	Entre as décadas de 1990 e 2010	A partir de 2010
Foco principal	Tratamento de lixo	Estratégias para a ecoeficiência	Maximização da retenção de valor
Características	Restringe-se ao tratamento do lixo gerado por meio de medidas para regular práticas de aterramento e incineração, não havendo preocupação em prevenir a sua geração. O conceito dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) começa a ganhar atenção.	Integra medidas preventivas e de resultado apoiadas na ideia de uma relação ganha-ganha entre as atividades empresariais e o meio-ambiente. O conceito ganha proeminência e passa a ser visto como um princípio para a ação em uma restrita escala industrial e tecnicista.	Combina elementos das fases anteriores sob o argumento dos ganhos econômicos, assumindo o potencial da economia circular para frear o crescimento do uso de recursos – entendido como uma ameaça à sobrevivência da raça humana.

**Quadro 2 – Fases de evolução do conceito de economia circular**

Fonte: Reike *et al.* (2018).

Avançando a reflexão das fases de evolução do conceito proposta por Reike *et al.* (2018), diferentes autores dissertam sobre a emergência das novas tecnologias como catalisadores da EC (Bressanelli *et al.*, 2018; Cerqueira-Streit *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2022; Modgil *et al.*, 2021; Nascimento *et al.*, 2019; Yi & Wu, 2021). Nesta perspectiva, a compreensão sobre o conceito no final da década de 2010 e nos primeiros anos da década seguinte é influenciada por aspectos como a transformação digital, a indústria 4.0, o *bigdata*, a internet das coisas (do inglês, *internet of things – IoT*), o *blockchain* e a inteligência artificial. Essa fase “4.0” da EC é caracterizada por um paradigma de redução do consumo de recursos e de otimização dos recursos naturais por meio de processos de manufatura e modelos de negócio integrados às novas tecnologias.

As implicações dessas tecnologias emergentes na EC refletem, principalmente, em melhorias no *design* dos produtos; na atração de consumidores-alvo; no monitoramento e rastreio das atividades dos produtos; no fornecimento de suporte técnico; na oferta de manutenção preditiva e preventiva; na otimização do uso dos produtos; no *upgrading* de

produtos; e, no aprimoramento de atividades de renovação no final do ciclo de vida de produtos (Bressanelli *et al.*, 2018).

Em suma, a EC propõe que o lixo produzido não seja apenas reduzido, como também reinserido na cadeia produtiva por meio de processos empresariais sustentáveis. Assim, políticas voltadas ao tema focam primordialmente no tratamento de resíduos e na eliminação de rejeitos, por meio de abordagens que coordenem os interesses dos *stakeholders* envolvidos por uma entidade central, visando mantê-los engajados nas suas responsabilidades. (Hartley *et al.*, 2020; Modgil *et al.*, 2021; Rebehy *et al.*, 2019).

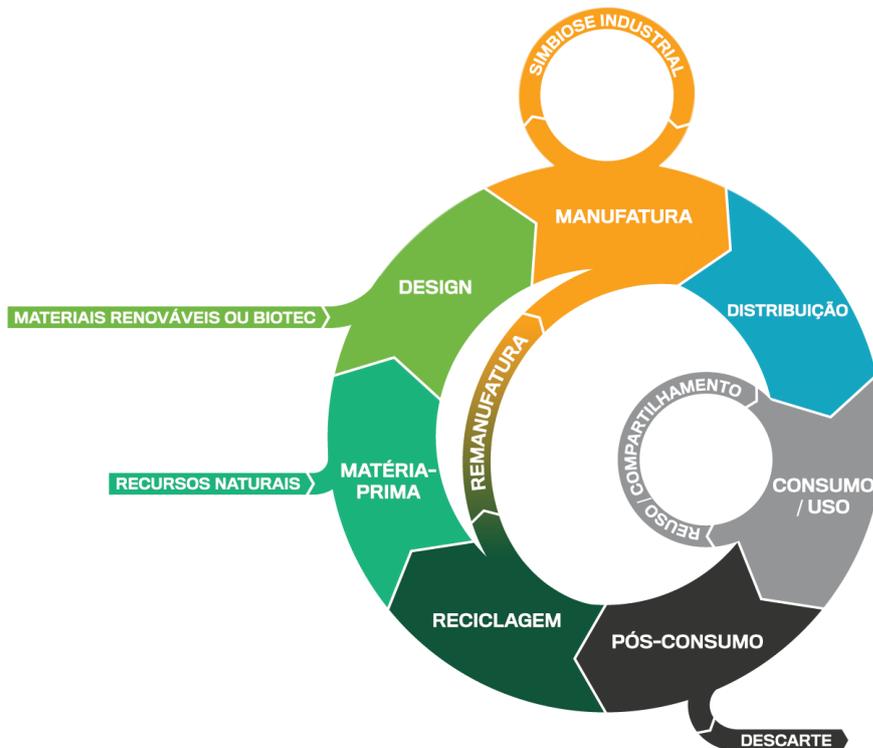
Lieder e Rashid (2016) comentam que a viabilidade da implementação das estratégias de economia circular está condicionada, em uma perspectiva de cima para baixo (*top-down*), à legislação e às políticas públicas, à infraestrutura de suporte e à conscientização social; e, em uma perspectiva de baixo para cima (*bottom-up*), a modelos de negócios colaborativos, ao *design* de produtos, às cadeias de suprimentos e às tecnologias de informação e comunicações.

Embora a legislação brasileira não faça referência ao termo “economia circular”, o que pode ser explicado pela recenticidade do conceito, seu texto reflete princípios norteadores e objetivos típicos do entendimento amplamente aceito de EC, a saber (Brasil, 2010, art. 7º; Guarnieri *et al.*, 2020):

- a não geração, a redução, a reciclagem e o tratamento de resíduos sólidos, assim como sua disposição ambientalmente apropriada;
- o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- a adoção, desenvolvimento e melhoria de tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos ambientais;
- a redução do volume e periculosidade de resíduos perigosos;
- o incentivo à indústria de reciclagem, com vistas à promoção do uso de matérias primas e inputs derivados de materiais reciclados e recicláveis;
- a gestão integrada de resíduos sólidos;
- a articulação de diferentes esferas do poder público, e destas com o setor privado, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos; e

- o treinamento técnico na área de resíduos sólidos.

Esses princípios estão relacionados a diferentes etapas da cadeia produtiva sob a ótica da EC, conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 2 – Fluxo da economia circular**

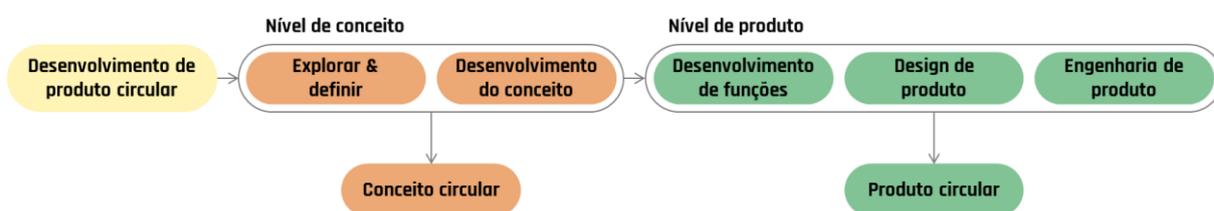
Fonte: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP. Disponível em: <<http://economiecircular.fiesp.com.br/pt/index.html>>.

O fluxo da EC possibilita que os materiais possam circular em *loops* fechados sem a geração de lixo, uma vez que o *output* da fase de reciclagem conecta-se às etapas de extração de insumos (recursos naturais) e de manufatura por meio de estratégias de reaproveitamento de matérias-primas e de remanufatura (Forti *et al.*, 2020; Nascimento *et al.*, 2019). A presente pesquisa tem foco nas fases do *design* e da manufatura do fluxo da economia circular. A primeira, conforme explicam Kim *et al.* (2022), consiste na aplicação de diretrizes circulares de desenho de produto para assegurar que parceiros e outros *stakeholders* relevantes cumpram os requisitos das etapas seguintes.

Leal *et al.* (2020) argumentam que as cadeias de revalorização não são adaptadas o suficiente para o fim do ciclo de vida dos produtos que processam e, concomitantemente, os produtos não são suficientemente bem desenhados para serem integrados às suas cadeias de revalorização. Neste sentido, é necessária uma sinergia entre os *designers* de produto e os *stakeholders* da cadeia de revalorização para o *design* de equipamentos otimizados para o fim

do ciclo de vida (do inglês, *design for EoL*), mas a inexistência de fluxos de comunicação e o lapso temporal entre a fase de *design* de produto e o tratamento de pós-consumo favorece a manutenção de uma lacuna entre esses atores.

Sob o ponto de vista do *design for EoL*, Berwald *et al.* (2021) propuseram um fluxo de desenvolvimento de produtos com *design* circular de EEE em dois níveis: i) de conceito, que tem início com as etapas de exploração e definição do projeto até a validação do conceito; e, ii) de produto, na qual o produto é definitivamente concebido. A figura a seguir ilustra as etapas de cada nível do referido fluxo.



**Figura 3 – Níveis do desenvolvimento de produtos com *design* circular**

Fonte: Adaptado de Berwald *et al.* (2021).

Complementarmente, alguns estudos dedicaram-se à proposição de diretrizes para o *design* circular de produtos nos últimos anos, a fim otimizar a fase de reciclagem do fluxo da EC (Berwald *et al.*, 2021; Bovea & Pérez-Belis, 2018; Leal *et al.*, 2020; Shahbazi *et al.*, 2021). O quadro a seguir apresenta a síntese das principais diretrizes para o *design* circular identificadas na literatura.

Diretrizes para o <i>design</i> circular	Berwald <i>et al.</i> (2021)	Leal <i>et al.</i> (2020)	Bovea & Pérez-Belis (2018)	Shahbazi <i>et al.</i> (2021)
Adotar parâmetros de rotulagem padronizada de produtos e componentes sobre reciclabilidade, incompatibilidade e/ou toxicidade para que possam ser facilmente identificados a partir de recicláveis e fluxos de resíduos		•		
Adotar um <i>design</i> modular		•		•
Colocar elementos de identificação em locais visíveis		•		

<b>Diretrizes para o <i>design</i> circular</b>	<b>Berwald <i>et al.</i> (2021)</b>	<b>Leal <i>et al.</i> (2020)</b>	<b>Bovea &amp; Pérez-Belis (2018)</b>	<b>Shahbazi <i>et al.</i> (2021)</b>
Desenhar produtos com caráter atemporal			•	
Desenhar produtos com fixadores e componentes padronizados em diferentes produtos e modelos			•	•
Desenhar produtos com fixadores facilmente acessíveis e removíveis (incluindo o espaço para a ferramenta de desmontagem)		•		
Desenhar produtos com foco na funcionalidade e na capacidade de atualização		•		•
Desenhar produtos considerando o uso secundário de materiais reciclados		•		
Desenhar produtos de forma a evitar que a sujeira se acumule			•	
Desenhar produtos que facilitem a desmontagem automática			•	
Desenhar produtos que possibilitem o uso de ferramentas padrão para diferentes equipamentos e modelos				•
Dimensionar os componentes para facilitar o seu manuseio			•	
Disponibilizar peças de reposição e componentes de troca				•
Eliminar rótulos incompatíveis com o tratamento pós-consumo		•		
Escolher materiais que possam facilmente recuperar suas propriedades originais após a reciclagem		•		
Evitar a mistura de materiais em montagens		•	•	
Evitar ou reduzir o uso de substâncias, materiais ou componentes prejudiciais aos seres humanos ou ao meio ambiente	•	•	•	
Facilitar a acessibilidade dos componentes essenciais (para a sua possível reutilização/reciclagem)			•	
Facilitar a desmontagem do produto e de seus componentes de forma não destrutiva		•		•

<b>Diretrizes para o <i>design</i> circular</b>	<b>Berwald <i>et al.</i> (2021)</b>	<b>Leal <i>et al.</i> (2020)</b>	<b>Bovea &amp; Pérez-Belis (2018)</b>	<b>Shahbazi <i>et al.</i> (2021)</b>
Facilitar a identificação rápida das juntas de desmontagem		•	•	
Facilitar a limpeza do produto e de seus componentes			•	•
Facilitar a troca de peças e o acesso a componentes defeituosos				•
Facilitar a inspeção do produto e de seus componentes				•
Fornecer informações ao usuário sobre como o produto ou suas peças devem ser descartadas		•		
Fornecer informações úteis relacionadas ao processamento		•		
Incorporar sistemas para monitorar componentes com falha			•	
Investigar as leis e regulamentos atuais e futuros afetam o <i>design</i> do produto				•
Minimizar as variações no aparelho			•	
Minimizar o comprimento de fios e cabos		•	•	
Minimizar o número de componentes		•	•	
Minimizar o número de diferentes tipos de fixadores		•		
Minimizar o número de diferentes tipos de materiais		•		
Minimizar o número de ferramentas a serem usadas			•	
Minimizar o número e tipos de articulações			•	
Minimizar o uso de peças que exigem reparos/substituições frequentes			•	
Permitir fácil acesso e remoção de peças perigosas ou poluentes	•	•		
Priorizar o uso de um único material por produto ou submontagem		•	•	
Proteger os fixadores da corrosão e do desgaste		•		

<b>Diretrizes para o <i>design</i> circular</b>	<b>Berwald <i>et al.</i> (2021)</b>	<b>Leal <i>et al.</i> (2020)</b>	<b>Bovea &amp; Pérez-Belis (2018)</b>	<b>Shahbazi <i>et al.</i> (2021)</b>
Reduzir o tempo e o número de etapas para desmontagem		•		
Usar codificação e marcação padronizadas de materiais para facilitar sua identificação (especialmente peças plásticas)		•		
Usar componentes com uma vida útil semelhante			•	
Usar componentes e materiais duráveis e robustos, por exemplo, resistência à corrosão		•		•
Usar fixadores e conectores que podem ser facilmente abertos e fechados várias vezes				•
Usar juntas de fácil acesso		•	•	
Usar juntas que podem ser desmontadas em vez de juntas fixas			•	
Usar materiais com baixo impacto ambiental (reciclável, baixo teor energético etc.)			•	
Usar materiais reciclados	•	•		
Usar materiais recicláveis	•	•	•	

**Quadro 3 – Principais diretrizes para o *design* circular identificadas na literatura**

Fonte: Autoria própria (2022).

A manufatura circular, por sua vez, consiste no processo de produção de bens para atender às demandas de mercado, minimizando o impacto ambiental negativo, conservando o consumo de energia e de recursos naturais e assegurando a segurança das partes envolvidas. Nesta etapa analisa-se o ciclo de vida do produto para aplicação dos princípios de circularidade (reduzir, reusar, reciclar, recuperar, redesenhar e remanufaturar) (Fazleena *et al.*, 2015). Diferentes estratégias são aplicadas nesta etapa, tais como a mineração urbana (Ottoni *et al.*, 2020); a utilização de energias renováveis (Scomazzon, 2021); a produção enxuta, do inglês *lean manufacturing* (Gaustad *et al.*, 2018; Tipu, 2021); e, a simbiose industrial (Lieder & Rashid, 2016).

A simbiose industrial, destacada no Fluxo da EC (Figura 2) refere-se a um modelo produtivo no qual organizações de diferentes setores industriais se conectam em um ciclo virtuoso no qual os resíduos e subprodutos de uma se transformam em recursos (insumos) de outra. Essa abordagem é composta por um conjunto de etapas nas quais as organizações integrantes de um mesmo ciclo compartilham informações para que as demais possam analisar oportunidades de parceria, custos e benefícios e efetuar as trocas de materiais (Marconi *et al.*, 2018).

A manufatura em cadeias de suprimentos de *loop* fechado se estabeleceu como área de pesquisa no final dos anos de 1990, com a emergência dos processos industriais de reciclagem para a restauração de bens duráveis usados até a condição de “novos”. Para tanto, esses processos industriais são compostos pelas seguintes principais fases: i) desmontagem; ii) limpeza; iii) inspeção e triagem; iv) recondicionamento; e, v) remontagem (Lieder & Rashid, 2016).

O estudo de Gaustad *et al.* (2018) sobre estratégias da economia circular para mitigar problemas na etapa de manufatura identificou como principais medidas a serem adotadas no nível organizacional: a melhoria da eficiência de recursos, a formação de alianças estratégicas com fornecedores; o investimento em pesquisa e desenvolvimento – P&D; o investimento em reutilização; o redesenho de produtos; e, a substituição de materiais e insumos.

Neste sentido, a aplicação de princípios da economia circular às fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos tem um grande potencial de contribuir com o aprimoramento da cadeia de revalorização dos REEE, na medida em que representa uma oportunidade econômica relevante para a recuperação de recursos materiais caros e escassos, além de contribuir para a redução da emissão de gases do efeito estufa (especialmente relacionados à cadeia de suprimentos) e do impacto ambiental da produção e do consumo desse tipo de equipamento (Bressanelli *et al.*, 2021; Cucchiella *et al.*, 2015).

#### **2.4. Estruturação do campo organizacional**

Na esteira do desenvolvimento das teorias organizacionais, até o final dos anos de 1970 as perspectivas preponderantes representavam as organizações como atores sociais respondendo a circunstâncias situacionais. Contudo, os estudos de Meyer e Rowan (1977) e de DiMaggio e Powell (1983) introduziram a ideia de que as organizações são influenciadas pelo seu contexto institucional, isto é, por mitos racionalizados amplamente difundidos (Greenwood *et al.*, 2008).

Ao analisar as razões da homogeneidade de formas e práticas organizacionais, DiMaggio e Powell (1983) identificaram que as organizações em estágios iniciais do ciclo de vida apresentam uma diversidade considerável de abordagens e formas estruturais, mas que tendem a se homogeneizar de forma inexorável na medida em que os campos organizacionais se tornam melhor estabelecidos. A homogeneização proporcionada pelo estabelecimento dos campos organizacionais ocorre por meio de processos isomórficos que fazem com que as organizações de determinado campo tendam a se assemelhar no longo prazo, conforme observado por Meyer e Rowan (1977) e DiMaggio e Powell (1983).

O conceito de isomorfismo pode ser compreendido como o processo restritivo que força um indivíduo em dada população (nesse caso, de organizações) a assemelhar-se aos demais indivíduos submetidos às mesmas condições ambientais e pode ser classificado em duas categorias distintas: o competitivo e o institucional. Enquanto o isomorfismo competitivo assume que a racionalidade do sistema enfatiza fatores como a competição de mercado e mudanças do nicho para justificar a burocratização e a adoção de inovações precoce, o isomorfismo institucional, por sua vez, assume que as organizações não competem apenas por recursos e consumidores, mas também por poder político e legitimidade institucional visando um maior ajustamento social e econômico. As mudanças isomórficas institucionais podem ocorrer por meio de um dos três mecanismos seguintes: o isomorfismo coercitivo, o mimético ou o normativo, conforme descrito no quadro a seguir (DiMaggio & Powell, 1983).

<b>Mecanismo de isomorfismo institucional</b>	<b>Descrição</b>
<b>Coercitivo</b>	Resulta de pressões formais e informais sob uma organização por outras organizações das quais é dependente ou por expectativas culturais da sociedade.
<b>Mimético</b>	Resulta da incerteza de uma organização a respeito do ambiente, dos seus objetivos ou de suas tecnologias.
<b>Normativo</b>	Resulta da profissionalização provocada pela educação formal e pela consolidação de redes profissionais em determinadas áreas, cuja consequência reflete a definição de condições e métodos de trabalho padronizados.

**Quadro 4 – Mecanismos de mudança isomórfica institucional**

Fonte: DiMaggio e Powell (1983).

As consequências dos processos isomórficos nas organizações são a incorporação de elementos em virtude de sua legitimidade externa (ao invés de eficiência), o emprego de critérios de avaliação externos para definir o valor de elementos estruturais, e a dependência por instituições fixas para reduzir turbulências e manter a estabilidade da organização (Meyer & Rowan, 1977). A compreensão dos mecanismos de mudança isomórfica possibilita o desenvolvimento de novas formas de coordenação intersetorial que favoreçam a diversificação dos campos, ao invés da homogeneização.

As políticas, planos e instituições de determinado arcabouço normativo fornecem um conjunto de entendimentos sociais, sob a forma de regras, normas e ideologias, que se configuram como mitos racionalizados na medida em que são reconhecidos e assumidos pelas partes envolvidas da sociedade (Greenwood *et al.*, 2008; Meyer & Rowan, 1977). A difusão dos mitos racionalizados possibilita o estabelecimento dos campos organizacionais, compreendidos como um agregado de organizações que compartilham mitos racionalizados, como fornecedores-chave, recursos, consumidores, instituições regulatórias e outras organizações produtoras de produtos ou serviços similares (DiMaggio & Powell, 1983).

Dado o estágio inicial de implementação na adoção de medidas para o gerenciamento dos REEE e a inexistência de um plano efetivo para a implementação da economia circular no Brasil, a Teoria Institucional das organizações fornece um fundamento promissor para a análise da problemática, uma vez que se busca identificar mitos racionalizados e propor estratégias que venham a contribuir com a estruturação do campo organizacional.

## **2.5. Métodos de estruturação de problemas**

Os métodos de estruturação de problemas, do inglês *problem structuring methods* – PSM, consistem em um grupo amplo de abordagens a problemas cujo propósito é suportar sua estruturação ao invés de resolvê-los diretamente, de forma participativa e interativa e que, em princípio, oferece respostas mais adequadas do que as técnicas clássicas da Pesquisa Operacional (do inglês, *Operational Research* – OR) aos problemas perversos (“*wicked problems*”) ou problemas mal estruturados (“*ill-structured problems*”) (Rosenhead, 1996).

Esses métodos começaram a ser desenvolvidos na metade dos anos 60 de forma independente e, somente a partir dos anos 80, passaram a ser compreendidos como integrantes de um campo coerente e importante para a prática e desenvolvimento da OR (Mingers & Rosenhead, 2004; Rosenhead, 1996).

Daellenbach (2001) argumenta que os problemas podem ser classificados quanto a sua complexidade em duas dimensões: i) a técnica, associada à natureza física, matemática ou computacional do problema, na qual os sistemas são aspectos objetivos da realidade, que independem do observador, e cujo tratamento se dá por meio da abordagem funcionalista ou *hard OR*; e, ii) a humana ou social, associada às interrelações entre as partes envolvidas, na qual os sistemas são subjetivos, que dependem da visão de mundo do observador, e cujo tratamento se dá por meio da abordagem interpretativa ou *soft OR*.

Enquanto a abordagem funcionalista é composta pelas metodologias tradicionais da OR, como a análises de sistemas, a dinâmica de sistemas, a teoria da complexidade e a engenharia de sistemas, a abordagem interpretativa é composta pelos PSM, que incluem mas não se restringem a *Soft Systems Methodology – SSM*, *Strategic Choice Approach – SCA*, *Strategic Options Development and Analysis – SODA*, a análise SWOT e a abordagem de cenários (Daellenbach, 2001; Mingers, 2011; Mingers & Rosenhead, 2004; Rosenhead, 1996; Vidal, 2005). O quadro a seguir apresenta uma síntese das características dos métodos PSM citados.

<b>Método PSM</b>	<b>Foco</b>	<b>Processo</b>	<b>Organização</b>	<b>Função do consultor</b>
Análise SWOT	Identificação de fatores críticos de sucesso.	Sem instruções específicas.	Realizada individualmente ou por meio de <i>workshops</i> .	Varia entre especialista e facilitador.
Abordagem de cenários	Formulação da estratégia da organização.	Sem instruções específicas.	Realizada individualmente ou por meio de <i>workshops</i> .	Varia entre especialista e facilitador.
SODA	Suporte à percepção e estruturação do problema.	Processo de aprendizado no qual o entendimento é gerado a partir da análise de percepções individuais agregadas em um modelo.	Entrevistas individuais e <i>workshops</i>	Facilitador e analista.
SCA	Suporte analítico de áreas de decisão dependentes.	Processo de aprendizado no qual a mudança é gerada entre diferentes formas de trabalho.	Workshops com participação interativa	Facilitador e especialista.

<b>Método PSM</b>	<b>Foco</b>	<b>Processo</b>	<b>Organização</b>	<b>Função do consultor</b>
SSM	Estruturação de problemas.	Processo de aprendizado no qual visões de mundo são sistematizadas.	Descrição entre sistema-cliente e definições raízes	Facilitador e especialista.

**Quadro 5 – Características dos PSM**

Fonte: Guarnieri *et al.* (2016).

Embora empreguem aparato matemático e estatístico elementar, os PSM são sofisticados na maneira com que conceituam e interagem com o processo de decisão, visto que possibilitam com que várias perspectivas alternativas sejam postas em conjunção com outras; são cognitivamente acessíveis a atores de diferentes *backgrounds* sem um treinamento especializado; operam iterativamente, para que o problema se ajuste e reflita ao estado da discussão entre os atores; e, permitam melhorias parciais ou locais identificadas ao longo do processo, ao invés de uma solução global que requereria a união de vários interesses (Mingers, 2011; Mingers & Rosenhead, 2004).

Por outro lado, Ackermann *et al.* (2014) alertam sobre os desafios das intervenções com o uso de PSM, sobretudo relacionados ao risco do envolvimento com a subjetividade, à neutralidade do facilitador, ao desenvolvimento de procedimentos efetivos para utilização de diferentes métodos concomitantemente, ao trabalho colaborativo entre organizações, e à possibilidade de derivar os achados para modelos generalizados, tal como nos métodos da dinâmica de sistemas e da análise de sistemas da abordagem funcionalista da OR.

Souza *et al.* (2015) comentam que o uso de PSM para suportar decisões relacionadas à sustentabilidade é uma tendência crescente e os indicam em situações em que se faça necessário o gerenciamento de múltiplos *stakeholders*. Em alinhamento, Mingers e Rosenhead (2004) recomendam a utilização dos PSM para o tratamento e gerenciamento de problemas não-estruturados, caracterizados pela existência de múltiplos atores e perspectivas com interesses conflitantes e incomensuráveis, e incertezas relevantes.

Diante desse ponto de vista, a problemática que motivou a presente investigação científica pode ser caracterizada como um problema não-estruturado, ou problema perverso (“*wicked problem*”), que não se pode otimizar e cujo tratamento aceita um certo nível de incerteza. Para este tipo de problema, o “novo paradigma” fornecido pelos PSM à OR

possibilita o endereçamento de recomendações ao processo de tomada de decisão (Ackermann *et al.*, 2014; Ormerod, 2014).

Embora integrem a mesma área do conhecimento, as abordagens dos diferentes métodos PSM possuem diferentes objetivos, processos e procedimentos de execução, conforme descrito por Guarnieri *et al.* (2016). Por esta razão, a escolha do método PSM deve manter estreito alinhamento com a finalidade da intervenção.

Considerando as lacunas apontadas na literatura quanto à compreensão dos efeitos da aplicação de princípios da EC nas fases de *design* e fabricação de equipamentos (Bressanelli *et al.*, 2021; Guarnieri *et al.*, 2016), e as características da cadeia de revalorização de REEE no Brasil, cujos efeitos dos normativos encontram-se em estágio inicial de implementação (EMF, 2017; Ottoni *et al.*, 2020), depreende-se que a problemática carece de estruturação e suporte à uma melhor percepção das partes envolvidas.

Neste sentido, optou-se pela abordagem SODA como aparato metodológico para a realização da presente pesquisa, que vai ao encontro da recomendação do estudo de Guarnieri *et al.* (2016) acerca dos problemas relacionados à implementação do acordo setorial de eletroeletrônicos no Brasil, que sugere o uso deste PSM para especificar variáveis relevantes que suportam o processo de tomada de decisão no contexto atual. Ademais, Eden e Ackermann (2004), em seu estudo sobre a aplicação do método SODA na análise de políticas no setor público, concluem que seu principal resultado está relacionado a criação de comprometimento psicológico e emocional para a implementação de ações.

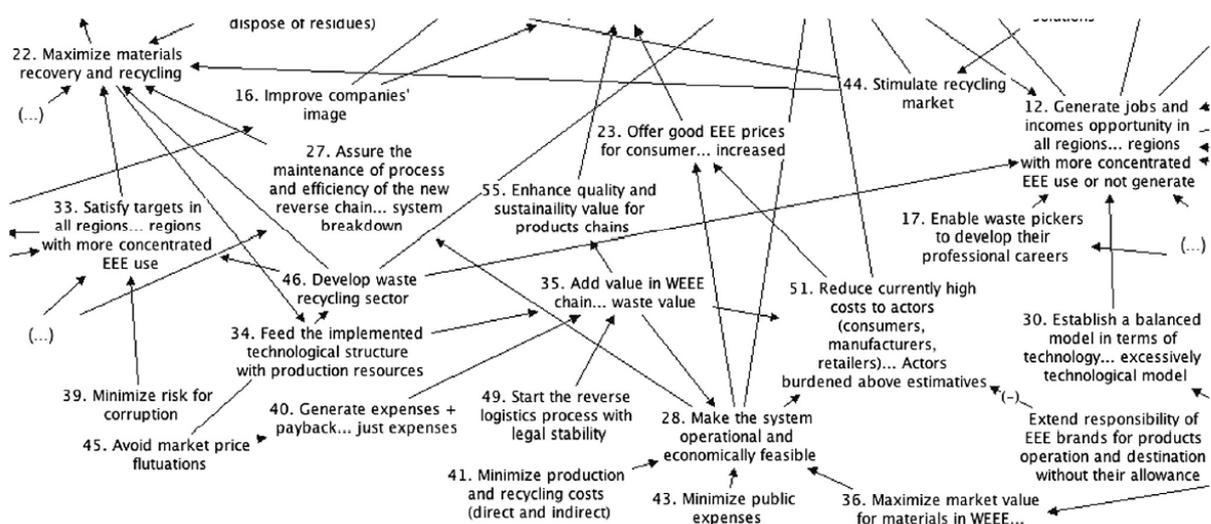
O método SODA consiste em uma abordagem *Soft OR* utilizada para a identificação de problemas gerais por meio da modelagem de mapas cognitivos para elicitar e registrar a visão de um grupo de indivíduos sobre uma determinada situação problema (Eden & Ackermann, 2001; Mingers & Rosenhead, 2004; Rosenhead, 1996). Hjørtsø (2004) acrescenta que o SODA fornece uma forma de identificar e estruturar preocupações subjetivas, enquadrando-as em um contexto mais amplo com vistas a obter o entendimento e o acordo de um grupo e valorizar o trabalho coletivo.

Mingers (2011) explica que o método SODA originou-se da técnica de mapeamento cognitivo, desenvolvida por Colin Eden, para suportar o entendimento da maneira com que diferentes pessoas envolvidas em uma determinada situação-problema a compreendem. Eden (1988), inspirado pela Teoria dos Construtos Pessoais, fundamentou a técnica de mapeamento cognitivo sobre três afirmativas: i) os indivíduos conferem sentido ao mundo por meio de

contrastes e similaridades (ou seja, o significado, no contexto de uma ação, deriva do relativismo); ii) os indivíduos procuram explicar o mundo continuamente; e, iii) os indivíduos procuram compreender os significados organizando conceitos de forma hierárquica, de forma que alguns construtos são superiores a outros.

Os mapas cognitivos, neste sentido, são uma representação visual da percepção particular de uma pessoa sobre uma situação problemática, nos quais cada bloco de texto representa um construto e os *links* entre os construtos representam o seu significado em termos de explicações e consequências. A seta que “sai” de um construto demonstra uma consequência, enquanto a seta que “entra” em um construto demonstra uma explicação. Ou seja, cada seta indica uma explicação para um construto e uma consequência para outro. Ademais, podem ser utilizados sinais positivos (+) ou negativos (-) nas pontas das setas com vistas a demonstrar a relação entre os construtos. O sinal positivo (ou a ausência de sinal) representa uma relação direta entre os construtos conectados pela respectiva seta. O sinal negativo, ao contrário, representa a relação inversa entre o construto explicativo e o construto consequente (Eden, 1988; Vidal, 2005).

Para levantar critérios de avaliação econômicos e sociais para compor a metodologia de Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida de produtos (do inglês *Life Cycle Sustainability Assessment – LCSA*), o estudo de Souza *et al.* (2015) utilizou o método SODA para convergir os pontos de vista individuais de vários atores. A figura a seguir exemplifica a representação visual do mapa cognitivo elaborado no referido estudo.



**Figura 4 – Exemplo de mapa cognitivo elaborado a partir da aplicação do método SODA**

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

O método SODA vale-se, portanto, desses mapas para construir a percepção de diferentes *stakeholders* relevantes (a partir da consolidação dos mapas cognitivos individuais em uma única representação diagramática) e possibilitar a discussão e o aprimoramento coletivo, normalmente em reuniões no formato de entrevistas e *workshops* (Eden & Ackermann, 2001). O detalhamento dos procedimentos metodológicos para a aplicação do método SODA será apresentado na seção 3.3 desta dissertação.

### 3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Esta seção do trabalho divide-se em seis subseções que abordam, respectivamente, i) a caracterização metodológica da pesquisa; ii) os procedimentos técnicos para a revisão da literatura; iii) os procedimentos técnicos para a pesquisa empírica; iv) a caracterização do setor; v) a caracterização dos participantes; e, vi) os cuidados éticos com a pesquisa.

#### 3.1. Caracterização metodológica da pesquisa

A ciência é uma forma de conhecimento cuja finalidade reside em formular leis que regem fenômenos de maneira objetiva, racional e sistemática, e que se distingue de outras formas de conhecimento uma vez que é caracterizada pela verificabilidade, isto é, pela capacidade de validação de afirmações ou hipóteses por meio de procedimentos intelectuais e técnicos. A esses procedimentos dá-se o nome de método, que indica as bases lógicas da investigação no processo científico (Gil, 2008; Marconi & Lakatos, 2003).

Gil (2008) aponta que a adoção de um método está sujeita a diversos fatores, como a natureza do objeto que se pretende pesquisar, os recursos materiais disponíveis e, sobretudo, a inspiração filosófica do pesquisador, e sugere que os métodos podem ser classificados entre i) dedutivo; ii) indutivo; iii) hipotético-dedutivo; iv) dialético; e, v) fenomenológico. Quanto ao método, esta pesquisa classifica-se como **indutiva** – vinculada à corrente filosófica do empirismo –, uma vez que parte de dados particulares, suficientemente constatados, e visa inferir uma verdade geral não contida nas partes examinadas, fundamentando-se em três elementos essenciais: i) a observação dos fenômenos; ii) a descoberta da relação entre eles; e, iii) a generalização da relação (Marconi & Lakatos, 2003).

A motivação da pesquisa social pode decorrer de ordem intelectual, se baseada no puro anseio do desenvolvimento da ciência; ou pragmática, se fundamentada no aprofundamento das consequências práticas do conhecimento (Gil, 2008). Assim, quanto à finalidade, esta pesquisa classifica-se como **aplicada** na medida em que “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos” (Silva & Menezes, 2005, p. 20).

Complementarmente, cabe pontuar que a pesquisa social varia conforme o seu objetivo específico. Existem pesquisas, classificadas como exploratórias, cujo objetivo é desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias a fim de formular problemas com maior grau de precisão ou definir hipóteses de pesquisa para estudos futuros. Há, por outro lado, aquelas classificadas como descritivas, cuja finalidade é a descrição das características de dada

população ou fenômeno. Por fim, existem pesquisas, classificadas como explicativas, cujo foco é identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, explicando a razão ou o “porquê” das coisas (Gil, 2008). Quanto ao nível (objetivo), esta pesquisa classifica-se como **exploratória**, uma vez que intenta ampliar a compreensão do problema, tornando-o mais explícito e possibilitando a formulação de hipóteses; e, **descritiva**, uma vez que preocupa-se em descrever as características do fenômeno para a identificação de relações entre variáveis (Silva & Menezes, 2005). Marconi e Lakatos (2003) argumentam que pesquisas exploratório-descritivas caracterizam-se por descrever completamente um determinado objeto de estudos, nas quais são realizadas análises teóricas e empíricas por meio de descrições quantitativas e/ou qualitativas.

Destarte, quanto à abordagem ao problema, as pesquisas científicas podem ser classificadas como qualitativas, quantitativas ou mistas. Creswell & Creswell (2018) dissertam que essas abordagens não são discretas, mas diferentes fins em um mesmo *continuum*, e que não devem ser vistas como rígidas ou dicotômicas. A pesquisa qualitativa refere-se a uma abordagem para explorar e compreender o significado que indivíduos ou grupos atribuem a problemas sociais ou humanos subjetivamente, enquanto a pesquisa quantitativa refere-se a uma abordagem para examinar relações entre variáveis que podem ser mensuradas numericamente e analisadas por meio de procedimentos estatísticos. A abordagem mista, por fim, se dá por meio da coleta de dados qualitativos e quantitativos (Creswell & Creswell, 2018; Silva & Menezes, 2005). Nesta perspectiva, esta pesquisa classifica-se como **qualitativa**. O quadro a seguir apresenta a síntese dos aspectos metodológicos que caracterizam a presente pesquisa.

Aspectos metodológicos	Tipologia
Método	Indutivo
Finalidade	Aplicada
Nível de pesquisa	Exploratória e descritiva
Abordagem ao problema de pesquisa	Qualitativa

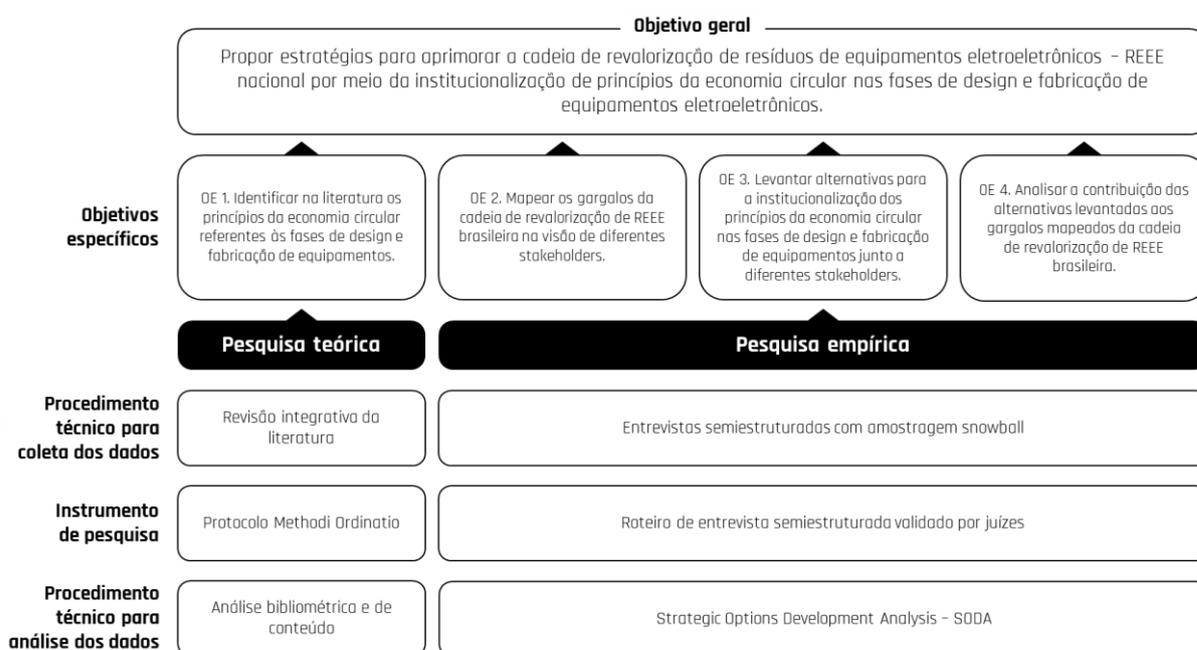
**Quadro 6 – Esquema tipológico da pesquisa**

Fonte: Autoria própria (2022).

A obtenção dos propósitos de uma investigação científica requer a aplicação de um conjunto de preceitos ou processos definidos pelo pesquisador com base na formatação metodológica da pesquisa, chamados de procedimentos técnicos (Marconi & Lakatos, 2003).

Para a consecução do objetivo geral da pesquisa que derivou esta dissertação foram empregados, inicialmente, procedimentos técnicos de natureza teórica, cujos dados foram coletados por meio de revisão integrativa da literatura, apoiada no Protocolo *Methodi Ordinatio*, e submetidos à análise bibliométrica e de conteúdo. Posteriormente, foram empregados procedimentos técnicos de natureza empírica, cujos dados foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas em amostra composta por técnica *snowball*, orientadas por um roteiro previamente elaborado pelo pesquisador e validado por juízes, e analisados por meio da aplicação da abordagem *Strategic Options Development and Analysis – SODA*.

A figura a seguir ilustra a síntese de procedimentos técnicos de coleta e análise de dados e instrumentos utilizados nas etapas da pesquisa, que serão detalhados nas seções 3.2 e 3.3 desta dissertação.



**Figura 5 – Procedimentos técnicos da pesquisa**  
 Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.2. Procedimentos técnicos para a pesquisa teórica

Dada a quantidade e a velocidade com que novas publicações são disponibilizadas nos repositórios científicos diariamente, a síntese periódica do conhecimento possui grande relevância e as revisões da literatura têm papel preponderante para esta finalidade, visto que oferecem uma seleção qualificada de trabalhos de determinada área de interesse e contribuem para o estabelecimento de agendas de pesquisas futuras, especialmente na área de gestão de negócios em virtude da emergência de lacunas de pesquisa (Mendes-da-Silva, 2019). As revisões de literatura, enquanto procedimento técnico, se proliferaram durante a última década,

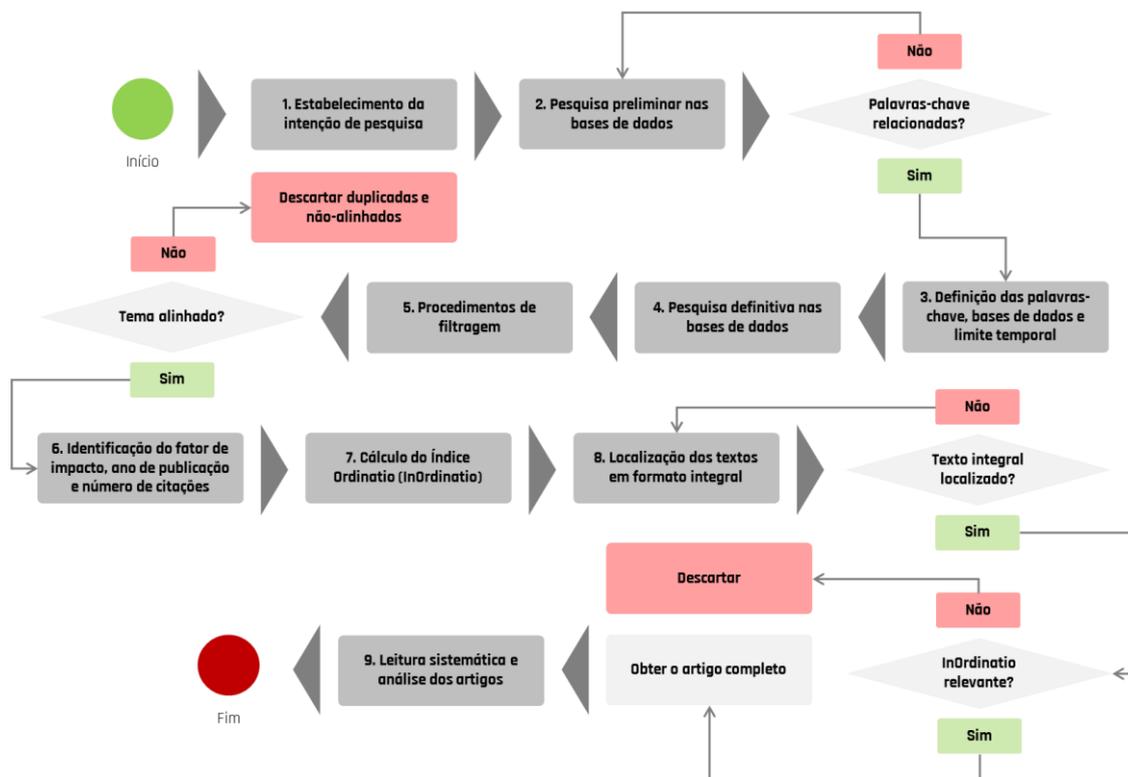
o que contribuiu para métodos mais sistemáticos e rigorosos, dentre os quais estão as meta-análises, as revisões sistemáticas, as revisões qualitativas, as revisões narrativas e as revisões integrativas (Mendes-da-Silva, 2019; Souza *et al.*, 2010; Whitemore & Knafl, 2005).

Whitemore e Knafl (2005) comentam que, embora existem aspectos comuns entre os diferentes métodos, cada um possui um propósito, um quadro de amostragem, uma definição e um tipo de análise distinto. Salvaguardando a característica da verificabilidade do procedimento de investigação científica, optou-se pela adoção da **revisão integrativa da literatura – RIL** para a consecução do OE 1. A RIL consiste em um tipo de revisão na qual produções teóricas e empíricas de determinada área do conhecimento são sistematizadas e agregadas, fornecendo uma compreensão abrangente de um fenômeno particular (Guarnieri & Kremer, 2019; Whitemore & Knafl, 2005). Souza *et al.* (2010) advogam que a RIL é a abordagem metodológica mais ampla, visto que permite a inclusão de estudos experimentais e não-experimentais, combinando dados da literatura teórica e empírica que possibilitam a consecução de uma variedade de objetivos, como a definição de conceitos, a revisão de teorias e evidências e a análise de problemas metodológicos de um tópico particular.

Adicionalmente, cabe ressaltar que existem diferentes protocolos para a realização sistemática de um procedimento de revisão da literatura, tais como o PRISMA (da sigla em inglês *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and meta-Analyses*), proposto por Moher *et al.* (2009) utilizado nos estudos de Bressanelli *et al.* (2020) e Kim *et al.* (2022); o da *Cochrane Colaboration*, proposto por Cronin, Ryan e Coughlan (2008), utilizado no estudo de Guarnieri (2015); e, o *Methodi Ordinatio*, proposto por Pagani *et al.* (2015), utilizado nos estudos de Cerqueira-Streit *et al.* (2021), Corsi *et al.* (2021) e Guarnieri e Kremer (2019).

O protocolo *Methodi Ordinatio* é uma ferramenta de apoio à decisão multicritério para o ranqueamento de um portfólio de artigos científicos segundo sua relevância, observando três fatores: i) o número de citações; ii) o ano de publicação; e, iii) o fator de impacto do periódico. Sua aplicação prevê a execução de nove etapas consecutivas (Figura 6), a saber: i) estabelecimento da intenção da pesquisa; ii) busca exploratória nas bases de dados; iii) definição da combinação de palavras-chave e bases de dados; iv) busca definitiva nas bases de dados; v) realização dos procedimentos de filtragem; vi) identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações dos artigos filtrados; vii) ranqueamento dos artigos científicos a partir do cálculo do Índice *Ordinatio*; viii) obtenção dos artigos incluídos no portfólio; e, ix) leitura e análise integral dos artigos (Pagani *et al.*, 2015, 2017). A opção por esse protocolo justificou-se por sua abordagem realista normativa, na qual o pesquisador toma

decisões de forma racional e objetiva para compor, filtrar e ordenar a relevância dos trabalhos que serão analisados (Pagani *et al.*, 2017).



**Figura 6 – Etapas do Protocolo *Methodi Ordinatio***  
 Fonte: Adaptado de Pagani *et al.* (2017).

Nas fases 1 e 2, estabeleceu-se a intenção da pesquisa (analisar o papel e as implicações da economia circular no *design* e na fabricação de equipamentos eletroeletrônicos) e realizou-se uma busca exploratória nas bases de dados com vistas à avaliação da aderência de palavras-chave e suas combinações e à identificação de outros termos associados ao objetivo da pesquisa (Pagani *et al.*, 2015).

A partir dessas verificações, na fase 3 definiu-se a combinação de palavras-chave e as bases de dados a serem consultadas para a composição do portfólio de artigos científicos da pesquisa. Visando ampliar o escopo da consulta, optou-se por buscar as palavras-chave em inglês nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A escolha dessas bases justificou-se por indexarem uma vasta quantidade de periódicos cientificamente relevantes, de áreas do conhecimento diversas (aspecto fundamental, considerando o caráter multidisciplinar do objeto dessa RIL), e que permitem recuperar a quantidade de citações. Os termos de busca empregados foram “*circular economy*”, “*electronic*” (e suas variações “*e-waste*”, “*waste electrical and electronic equipment*” e “*weee*”), e “*design*” ou “*manufacturing*”, combinados com

operadores booleanos tal como descrito no Quadro 7. As buscas desses termos observaram ocorrências no título, resumo e palavras-chave dos autores dos artigos.

Base de dados	Chave de busca
Scopus	TITLE-ABS-KEY(("circular economy") AND ("e-waste" OR "weee" OR "electronic" OR "waste electrical and electronic equipment") AND ("design" OR "manufacturing"))
Web of Science	((TI=((“circular economy”) AND (“e-waste” OR “weee” OR “waste electrical and electronic equipment” OR “electronic”) AND (“design” OR “manufacturing”))) OR AB=((“circular economy”) AND (“e-waste” OR “weee” OR “waste electrical and electronic equipment” OR “electronic”) AND (“design” OR “manufacturing”))) OR AK=((“circular economy”) AND (“e-waste” OR “weee” OR “waste electrical and electronic equipment” OR “electronic”) AND (“design” OR “manufacturing”)))

**Quadro 7 – Chaves de busca às bases de dados**

Fonte: Autoria própria (2022).

Adicionalmente, não foram estabelecidas restrições temporais para as buscas, com vistas a possibilitar uma análise longitudinal das publicações incluídas no portfólio. Como critério de exclusão, restringiu-se a busca por artigos (teórico-empíricos ou de revisão) publicados somente em periódicos (*journals*), desconsiderando-se aqueles publicados em anais de eventos científicos (*conference proceedings, erratas, capítulos e livros, literatura cinza, leis, regulamentos, relatórios, entre outros*) e aqueles publicados em outras línguas que não a inglesa. A justificativa dessa restrição reside nas características do protocolo adotado, que considera o fator de impacto para composição do portfólio de artigos científicos.

Nas fases 4 e 5, foram realizadas a busca definitiva nas bases de dados e os procedimentos de filtragem, respectivamente. Ao total, foram identificados 205 artigos científicos dentro dos parâmetros definidos na fase anterior, sendo que destes 149 foram localizados na busca à base *Scopus* e 56 na busca à base *Web of Science*. Destas bases, foram extraídos relatórios analíticos contendo os atributos dos artigos científicos (título, autores, código DOI, ano de publicação, periódico, palavras-chave dos autores etc.) nos formatos .bib, para tratamento em *software* de gerenciamento de referências (Mendeley); e .xlsx para tratamento e análise em planilha eletrônica. Vale ressaltar, contudo, que alguns dados relevantes, como o contexto geográfico do estudo, não estavam disponíveis nos relatórios extraídos das bases e somente foram identificados a partir da análise preliminar dos artigos, durante os procedimentos de filtragem (Fase 5 do Protocolo). Uma vez identificados, esses

atributos foram adicionados pelo pesquisador na planilha eletrônica utilizada para tratamento e análise dos dados.

O tratamento dos dados refere-se aos procedimentos de filtragem aos quais os artigos foram submetidos por meio da análise do título, das palavras-chave e do resumo, com vistas à eliminação de publicações duplicadas ou artigos que não pertençam a área de interesse da pesquisa (Pagani *et al.*, 2017). Dessa análise procedeu-se com a eliminação de 44 artigos duplicados, isto é, identificados em ambas as bases. Ademais, outros 19 artigos foram eliminados por fugirem do escopo da RIL. Para a análise, definiu-se como critérios de inclusão artigos que abordassem: i) etapas/procedimentos do processo de *design* e/ou fabricação (i) de equipamentos eletroeletrônicos (ii) sob a ótica da economia circular (iii). Dessa forma, os artigos que não atenderam aos critérios definidos foram considerados fora do escopo e excluídos do rol analisado.

Ao final da etapa de filtragem, restaram 142 artigos científicos exclusivos e alinhados à intenção desta pesquisa, conforme ilustrado na Figura 7. Esse conjunto de artigos foi submetido à análise bibliométrica, de natureza quantitativa. A bibliometria refere-se à análise de aspectos quantitativos de um conjunto de publicações científicas, relacionados à produção, à disseminação e ao uso das informações, e cujo emprego na RIL ajuda a integrar e ampliar a compreensão sobre os achados de estudos anteriores. Ela se concentra, dentre outros, nas características das publicações; na distribuição em periódicos; no comportamento longitudinal do desenvolvimento da literatura especializada; e, na produção de autores, instituições e países (Anandh *et al.*, 2021; Macias-Chapula, 1998; Pagani *et al.*, 2017). Para a condução dessa análise, utilizou-se o *software* Microsoft Excel®, para a tabulação e tratamento estatístico descritivo.

**Na fase 6**, identificou-se o fator de impacto do periódico, o ano da publicação e o número de citações dos artigos resultantes da fase anterior ( $n = 142$ ). A verificação destes critérios visa eliminar questionamentos sobre qual aspecto melhor determina a relevância de um artigo, na medida em que avalia a relevância do periódico por meio do fator de impacto, o reconhecimento científico do trabalho por meio do número de citações, e a recenticidade do artigo por meio do ano de publicação (Pagani *et al.*, 2015). O fator de impacto utilizado foi o *Scimago Journal Rank* – SJR mensurado no ano de 2020. A opção por esta métrica em detrimento de outras, como o JCR ou o SNIP, ocorreu em virtude de sua ampla cobertura dentre os periódicos identificados nas buscas às bases de dados *Scopus* e *Web of Science*.

Os dados referentes ao fator de impacto, ao ano da publicação e ao número de citações dos artigos foram tabulados em uma planilha eletrônica a fim de possibilitar a realização da **fase 7**, que consistiu no ranqueamento dos artigos científicos a partir do cálculo da equação *InOrdinatio* a seguir.

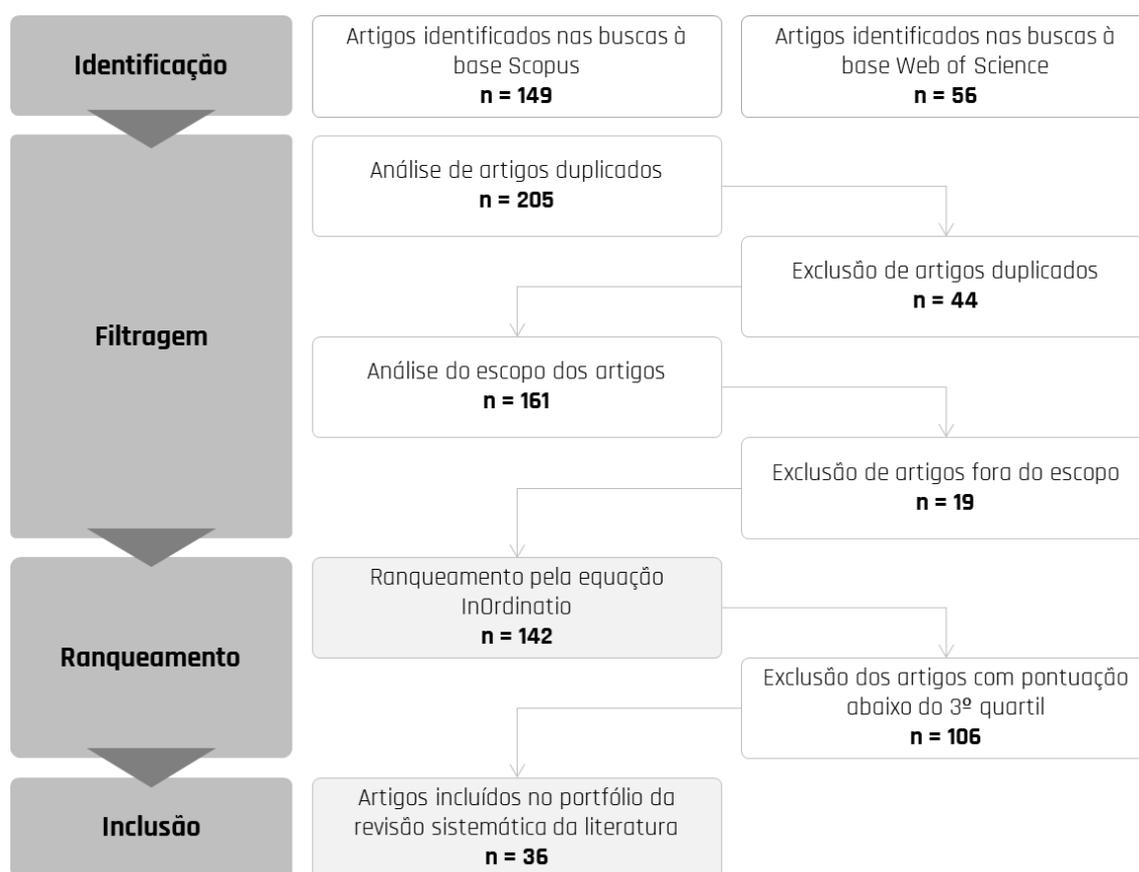
$$InOrdinatio = \left(\frac{FI}{1000}\right) + \alpha * [10 - (Ano da pesquisa - Ano da publicação)] + (\sum Ci), \text{ onde:}$$

FI = Fator de impacto;

$\alpha$  = Coeficiente de ponderação atribuído pelo pesquisador em escala de 1 a 10, o qual quanto mais próximo de 10, maior é a importância atribuída ao critério “ano da publicação”; e,

Ci = Número de citações.

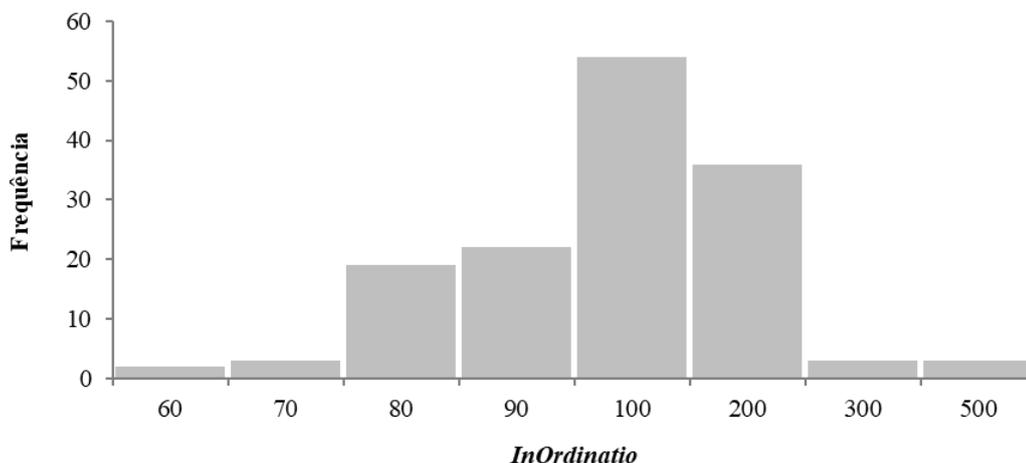
Para esta RIL, o valor atribuído ao coeficiente  $\alpha$  foi igual a 10, uma vez que a análise exploratória realizada na fase 2 permitiu observar um aumento significativo das publicações nos últimos anos e, por isso, optou-se por conferir maior importância ao ano da publicação no cálculo da equação *InOrdinatio*.



**Figura 7 – Fluxograma de etapas para a composição do portfólio de artigos científicos**  
Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos resultados obtidos, ranqueou-se os artigos científicos (n = 142) em ordem decrescente de acordo com o Índice *Ordinatio*. Pagani *et al.* (2015) pontuam que, uma vez que

os artigos foram ordenados, cabe ao pesquisador definir quantos trabalhos compõem o portfólio final da RIL, de acordo com as suas prioridades. Para tanto, foram empregadas técnicas de estatística descritiva para analisar a distribuição do Índice *Ordinatio* dos artigos, conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 8 – Histograma da distribuição do Índice *Ordinatio* dos artigos científicos**  
 Fonte: Autoria própria (2022).

Ao analisar as medidas de tendência central do rol de dados equivalente aos Índices *Ordinatio* calculados, verificou-se média ( $n = 106,73$ ) superior a mediana ( $n = 95$ ) e, portanto, uma assimetria à direita (positiva) na distribuição. Neste sentido, optou-se por estabelecer o recorte no terceiro quartil ( $n = 101,75$ ).

O portfólio de artigos científicos, então, foi composto pelos 36 trabalhos com *InOrdinatio* superior a 101,75, relacionados na Tabela 1, considerados mais relevantes segundo o fator de impacto do periódico, o ano de publicação e o número de citações.

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
1	Recycling of WEEEs: economic assessment of present and future e-waste streams	Cucchiella, D'Adamo, Lenny Koh & Rosa	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3,522	426	2015	456,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
2	<i>Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems</i>	Tolio, Bernard, Colledani, Kara, Seliger, Dufflou, Battaia & Takata	CIRP Annals – Manufacturing Technology	2,37	305	2017	355,00
3	Products that go round: Exploring product life extension through <i>design</i>	Bakker, Wang, Huisman & Den Hollander	Journal of Cleaner Production	1,937	316	2014	336,00
4	Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal	Nascimento, Alencastro, Quelhas, Caiado, Garza-Reyes, Lona & Tortorella	Journal of Manufacturing Technology Management	1,29	227		297,00
5	Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies	Bressanelli, Adrodegari, Perona & Saccani	Sustainability (Switzerland)	0,612	181	2018	241,00
6	Circular value creation architectures: Make, ally, buy, or laissez-faire	Hansen & Revellio	Journal of Industrial Ecology	2,377	141	2020	221,00
7	Outsourcing and reverse supply chain performance: a triple bottom line approach	Agrawal & Singh	Benchmarking – An International Journal	0,64	106	2021	196,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
8	Transition to circular economy on firm level: Barrier identification and prioritization along the value chain	Werning & Spinler	Journal of Cleaner Production	1,937	114	2020	194,00
9	Ease of disassembly of products to support circular economy strategies	Vanegas, Peeters, Cattrysse, Tecchio, Ardente, Mathieux, Dewulf & Duflou	Resources, Conservation and Recycling	2,468	107	2018	167,00
10	Towards circular business models: Identifying consumer needs based on the jobs-to-be-done theory	Hankammer, Brenk, Fabry, Nordemann & Piller	Journal of Cleaner Production	1,937	92	2019	162,00
11	On the sustainability of lithium-ion battery industry – A review and perspective	Yang, Okonkwo, Huang, Xu, Sun & He	Energy Storage Materials	5,225	63	2021	153,01
12	Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues	Gaustad, Krystofik, Bustamante & Badami	Resources, Conservation and Recycling	2,468	93	2018	153,00
13	Consumer Demand for Circular Products: Identifying Customer Segments in the Circular Economy	Boyer, Hunka & Whalen	Sustainability	0,612	55	2021	145,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
14	Tightening the loop on the circular economy: Coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing	Zhong Pearce	& Resources, Conservation and Recycling	2,468	84	2018	144,00
15	Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ion batteries: A comprehensive review	Makuza, Tian, Guo, Chattopadhyay & Yu	Journal of Power Sources	2,139	52	2021	142,00
16	Transition to circular economy in Brazil A look at the municipal solid waste management in the state of Sao Paulo	Paes, de Medeiros, Mancini, Ribeiro & de Oliveira	Management Decision	0,923	47	2021	137,00
17	Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer	Sousa-Zomer, Magalhães, Zancul, Campos & Cauchick-Miguel	Journal of Cleaner Production	1,937	75	2018	135,00
18	A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union	Mhatre, Panchal, Singh & Bibyan	Sustainable Production and Consumption	1,019	35	2021	125,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
19	Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges	Shittu, Williams & Shaw	Waste Management	1,807	34	2021	124,00
20	The importance of <i>design</i> in lithium-ion battery recycling-a critical review	Thompson, Hartley, Lambert, Shiref, Harper, Kendrick, Anderson, Ryder, Gaines & Abbott	Green Chemistry	2,221	41	2020	121,00
21	Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU	Parajuly, Fitzpatrick, Muldoon & Kuehr	Resources, Conservation and Recycling	2,468	39	2020	119,00
22	Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling	Piątek, Afyon, Budnyak, Budnyk, Sipponen & Slabon	Advanced Energy Materials	10,08	25	2021	115,01
23	Supporting Household Waste Sorting Practices by Addressing Information Gaps	Rasmussen, Pagels & Ramanujan	Journal of Computing and Information Science in Engineering	0,538	32	2020	112,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
24	Technical challenges and opportunities in realizing a circular economy for waste photovoltaic modules	Farrell, Osman, Doherty, Saad, Zhang, Murphy, Harrison, Vennard, Kumaravel, Al-Muhtaseb & Rooney	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3,522	31	2020	111,00
25	Identifying <i>design</i> guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment	Bovea & Pérez-Belis	Journal of Environmental Management	1,441	51	2018	111,00
26	Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy	Bonsu	Journal of Cleaner Production	1,937	30	2020	110,00
27	Growing e-waste management risk awareness points towards new recycling scenarios: The view of the Big Four's youngest consultants	Appolloni, D'Adamo, Gastaldi, Santibanez-Gonzalez & Settembre-Blundo	Environmental Technology and Innovation	0,866	16	2021	106,00
28	Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability	Martins, Guimarães, Botelho Junior, Tenório & Espinosa	Journal of Environmental Management	1,441	14	2021	104,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
29	Repurposing of Fruit Peel Waste as a Green Reductant for Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries	Wu, Soh, Chan, Meng, Meyer, Srinivasan & Tay	Environmental Science and Technology	2,851	23	2020	103,00
30	Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies	Pinheiro, Jugend, Jabbour & Latan	Business Strategy and the Environment	2,123	3	2022	103,00
31	To realize better extended producer responsibility: <i>Redesign</i> of WEEE fund mode in China	Gu, Wu, Xu, Wang & Zuo	Journal of Cleaner Production	1,937	53	2017	103,00
32	Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery	Sharma, Vanapalli, Samal, Cheela, Dubey & Bhattacharya	Science of the total Environment	1,795	13	2021	103,00
33	Orchestrating entrepreneurial ecosystems in circular economy: the new paradigm of sustainable competitiveness	Oliveira, Lopes, Farinha, Silva & Luízio	Management of Environmental Quality: An International Journal	0,652	3	2022	103,00

#	Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
=33	Sustainable electronic waste management among households: a circular economy perspective from a developing economy	Ofori Mensah	& Management of Environmental Quality: An International Journal	0,652	3	2022	103,00
35	Enablers, levers and benefits of Circular Economy in the Electrical and Electronic Equipment supply chain: a literature review	Bressanelli, Pigosso, Saccani Perona	& Journal of Cleaner Production	1,937	12	2021	102,00
36	Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles	Chan, Anawati, Malik Azimi	& ACS Sustainable Chemistry and Engineering	1,878	12	2021	102,00

**Tabela 1 – Portfólio de artigos científicos incluídos na RIL**

Fonte: Aatoria própria (2022).

Por fim, nas **fases 8 e 9**, os textos completos dos artigos incluídos no portfólio (n = 36) foram localizados nos meios eletrônicos, baixados, lidos integralmente e, então, submetidos à análise de conteúdo que, segundo Bardin (2011, p. 48), consiste em

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens.

Segundo Mozzato & Grzybovski (2011), a análise de conteúdo enquanto procedimento utilizado para a interpretação dos dados textuais provenientes de pesquisas qualitativas é uma das técnicas mais utilizadas no campo da Administração no Brasil. A condução do procedimento desdobra-se em três fases principais: i) a pré-análise, na qual o pesquisador realiza uma leitura flutuante dos registros a fim de prepará-los para a análise e de formular hipóteses; ii) a exploração do material, quando realiza-se a codificação dos registros por meio

do recorte, da enumeração e da classificação; e, iii) o tratamento de dados, no qual realiza-se a interpretação e as inferências dos dados, conferindo-lhes validade e significado (Bardin, 2011; Mozzato & Grzybovski, 2011).

Para a condução dessa análise, utilizou-se o *software* VOSviewer® para a identificação de agrupamentos de publicações por convergência de palavras-chave e cocitações. As constatações verificadas por meio da RIL serão apresentadas na seção 4.1 deste trabalho, onde discorreu-se sobre o estado da arte do referencial teórico.

### **3.3. Procedimentos técnicos para a pesquisa empírica**

Os dados afins à consecução dos OE 2, 3 e 4 foram coletados por meio de **entrevistas**, que se configuram como um procedimento técnico essencialmente qualitativo no qual o pesquisador apresenta-se a um indivíduo e lhe formula perguntas de maneira metódica, sob a forma de um diálogo assimétrico, a fim de obter dados caros à investigação científica (Gil, 2008; Marconi & Lakatos, 2003). A entrevista é uma técnica amplamente utilizada na pesquisa social para o levantamento de informações sobre “o que as pessoas sabem; creem; esperam; sentem ou desejam; pretendem fazer, fazem ou fizeram; bem como acerca das suas explicações ou razões a respeito das coisas precedentes” (Gil, 2008, p. 128).

Marconi e Lakatos (2003) destacam que a entrevista pode ser: i) padronizada ou estruturada, na qual o entrevistador segue um roteiro ou formulário previamente planejado rigidamente; ii) despadronizada ou não-estruturada, na qual o entrevistador é dotado de liberdade para realizar as perguntas que julgar adequadas – normalmente abertas e respondidas dentro de uma conversa informal; e, iii) painel, na qual o entrevista realiza um conjunto de perguntas padronizadas em intervalos temporais curtos para verificar a evolução de opiniões. Flick (2013) acrescenta a entrevista semiestruturada como uma variedade da técnica, na qual o entrevistador prepara um rol de perguntas para atender ao objetivo pretendido para a entrevista, mas não se restringe a elas.

As principais vantagens da entrevista enquanto procedimento técnico de coleta são a possibilidade de utilização com públicos diversos, de repetição ou esclarecimento das perguntas pelo pesquisador, de quantificação das respostas para tratamento estatístico, além da obtenção de informações mais precisas devido a comprovação de discordância imediatamente. Por outro lado, a entrevista tem como limitações a eventual dificuldade de comunicação e expressão das partes; a possibilidade de enviesamento do entrevistado pelo entrevistador, consciente ou

inconscientemente; a duração prolongada; e a potencial dificuldade de realização (Marconi & Lakatos, 2003).

Para esta pesquisa, optou-se pela realização de entrevistas do tipo **semiestruturadas** a partir de roteiro previamente planejado pelo pesquisador, com *stakeholders* do SLR para EEE brasileiro, firmado a partir da assinatura do acordo setorial, conforme detalhado na seção 3.5, de caracterização dos participantes. O roteiro de entrevista planejado pelo pesquisador foi estruturado em cinco blocos de perguntas, conforme descrito no quadro a seguir.

Bloco	Quantidade de perguntas	Referências
I – Identificação da organização	6	Não se aplica.
II – Economia circular	4	Reike <i>et al.</i> (2018); DiMaggio e Powell (1983).
III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira	13	Reike <i>et al.</i> (2018); Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Tolio <i>et al.</i> (2017); Green Eletron (2021); Brasil (2010; 2020); Guzzo <i>et al.</i> (2022); EMF (2013; 2017).
IV – <i>Design</i> e fabricação de EEE	8	Bressanelli <i>et al.</i> (2020); Fernandes <i>et al.</i> (2021); Schneider (2016); Brasil (2010; 2020); Bacovis (2021); Scomazzon (2021).

**Quadro 8 – Estrutura do instrumento qualitativo de pesquisa**

Fonte: Autoria própria (2022).

O roteiro de entrevista semiestruturada foi submetido à validação por juízes previamente à realização da coleta de dados. Este procedimento tem como finalidade submeter o instrumento qualitativo de pesquisa à avaliação semântica por técnicos especialistas para observação de critérios como clareza de linguagem, pertinência prática e relevância teórica (Greco *et al.*, 2015), além da organização, clareza, objetividade, fluidez de leitura e entendimento do conteúdo (Hermida & Araújo, 2006). A escolha dos juízes foi feita com base no conhecimento e experiência nas bases conceituais do estudo, avaliada com base na quantidade e qualidade das publicações em periódicos científicos nacionais e estrangeiros verificada na Plataforma Lattes em janeiro de 2023.

Ao total, 8 juízes foram convidados a participar do procedimento de validação do instrumento de pesquisa por meio de *e-mail* enviado em janeiro de 2023, no qual solicitou-se

um retorno com as considerações devidas no prazo de 20 dias. Por fim, obteve-se um retorno de 75,0% dos juízes no período indicado, conforme detalhado no quadro a seguir.

Nº	Titulação	Área	Quantidade de publicações em periódicos
1	Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	Engenharias	26
2	Doutorado em Administração pela Universidade de Brasília – UnB	Ciências sociais aplicadas	20
3	Doutorado em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília – UnB	Ciências sociais aplicadas	10
4	Doutorado em Administração pela Universidade de Brasília – UnB	Ciências sociais aplicadas	7
5	Mestrado em Administração pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNOESTE	Ciências sociais aplicadas	55
6	Mestrado em Administração pela Universidade de Brasília – UnB	Ciências sociais aplicadas	6

**Quadro 9 – Juízes do instrumento qualitativo de pesquisa**

Fonte: Autoria própria (2023).

As considerações dos juízes foram tabuladas e incorporadas no instrumento qualitativo de pesquisa. A síntese das modificações realizadas na versão original do roteiro de entrevista semiestruturada (enviada aos juízes) está descrita no quadro a seguir.

Conteúdo da versão original do instrumento	Apontamentos dos juízes	Considerações do pesquisador	Conteúdo da versão validada do instrumento
Apresentação do roteiro Objetivo da pesquisa: propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de <i>design</i> e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos.	Apresentar o significado de REEE.	De acordo. Adicionou-se o significado da sigla.	Apresentação do roteiro Objetivo da pesquisa: propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de <i>design</i> e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos.

<b>Conteúdo da versão original do instrumento</b>	<b>Apontamentos dos juízes</b>	<b>Considerações do pesquisador</b>	<b>Conteúdo da versão validada do instrumento</b>
<p>Bloco: I – Identificação da organização</p> <p>Questão: 2) Tipo de organização</p> <p>( ) Governo</p> <p>( ) Entidade gestora</p> <p>( ) Entidade representativa do setor privado</p> <p>( ) Empresa/ Organização do Terceiro Setor</p> <p>( ) Outro. Qual?</p>	<p>Analisar se no campo "Identificação da Organização", existe algum impedimento em ser "Governo" e "Entidade Gestora", bem como "Entidade representativa do setor privado" e "Empresa/ Terceiro Setor".</p>	<p>Optou-se pela modificação da questão a fim de tornar as alternativas mutuamente excludentes.</p>	<p>Bloco: I – Identificação da organização</p> <p>Questão: 2) Tipo de organização</p> <p>( ) Ente governamental (poder público)</p> <p>( ) Instituição de pesquisa</p> <p>( ) Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos</p> <p>( ) Organização do Terceiro Setor</p> <p>( ) Empresa</p> <p>( ) Outro. Qual?</p>
<p>Bloco: I – Identificação da organização</p>	<p>Questionar a formação do representante e o nível de escolaridade, que pode ter alguma relação com o conhecimento sobre os assuntos a serem tratados nas próximas questões.</p>	<p>De acordo.</p> <p>Adicionou-se as questões (4 e 5).</p>	<p>Bloco: I – Identificação da organização</p> <p>Questão: 4) Nível de escolaridade do representante</p> <p>Questão: 5) Área de formação do representante</p>
<p>Bloco: I – Identificação da organização</p> <p>Questão: 4) Tempo de experiência do representante na organização</p>	<p>Especificar a unidade de medida (anos, por exemplo).</p>	<p>De acordo.</p> <p>Modificou-se a redação da questão para acrescentar a sugestão do juiz.</p>	<p>Bloco: I – Identificação da organização</p> <p>Questão: 6) Tempo de experiência do representante na organização (em anos).</p>
<p>Bloco: II – Economia circular</p> <p>Questão: 2) Que benefícios o(a) Sr.(a)</p>	<p>Perguntar se a pessoa acha que há benefícios, depois complementa</p>	<p>De acordo.</p> <p>Modificou-se a redação da questão para</p>	<p>Bloco: II – Economia circular</p> <p>Questão: 2) O(a) Sr.(a) enxerga benefícios na</p>

<b>Conteúdo da versão original do instrumento</b>	<b>Apontamentos dos juízes</b>	<b>Considerações do pesquisador</b>	<b>Conteúdo da versão validada do instrumento</b>
enxerga com a implementação da economia circular no Brasil?	perguntando qual.	acrescentar a sugestão do juiz.	implementação da economia circular no Brasil? Se sim, quais?
Bloco: II – Economia circular	Incluir questão sobre o conhecimento de legislações que contribuem para a adoção de medidas de economia circular, a fim de captar o conhecimento do participante em relação à legislação. Caso ele cite alguma, é recomendável pedir que justifique de quais forma pode contribuir para a organização.	De acordo. Adicionou-se a questão (4).	Bloco: II – Economia circular Questão: 4) O(a) Sr.(a) tem conhecimento de alguma legislação que contribui para que organizações (entes governamentais, privados e do terceiro setor) adotem medidas ou comportamentos em prol da economia circular? Se sim, quais? Justifique.
Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 5) Quem são os principais atores envolvidos na cadeia de revalorização de REEE no Brasil?	Adicionar "Na sua opinião" ou "na sua visão", quem são os principais...	De acordo. Modificou-se a redação da questão para acrescentar a sugestão do juiz.	Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 5) Na sua visão, quem são os principais atores envolvidos na cadeia de revalorização de REEE no Brasil?
Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 6) Quais são os principais obstáculos/desafios existentes na cadeia de	Perguntar se acha que existem obstáculos/desafios e quais são. Com a resposta do representante reforça-se o que	De acordo. Modificou-se a redação da questão para acrescentar a sugestão do juiz.	Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 6) Na sua visão, existem obstáculos/desafios na cadeia de revalorização de REEE brasileira? Se sim, quais são eles?

<b>Conteúdo da versão original do instrumento</b>	<b>Apontamentos dos juízes</b>	<b>Considerações do pesquisador</b>	<b>Conteúdo da versão validada do instrumento</b>
revalorização de REEE brasileira?	já sabe e o que diz a literatura.		
Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 10) O(a) Sr. (a) acha que os atores da cadeia de reciclagem estão suficientemente preparados para tratar os equipamentos eletroeletrônicos como são produzidos atualmente?	Solicitar ao entrevistado para justificar a resposta.	De acordo. Modificou-se a redação da questão para acrescentar a sugestão do juiz.	Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 10) O(a) Sr. (a) acha que os atores da cadeia de reciclagem estão suficientemente preparados para tratar os equipamentos eletroeletrônicos como são produzidos atualmente? Justifique.
Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira	Incluir questão sobre impactos sociais/ambientais decorrentes da não revalorização dos equipamentos. Embora a pesquisa seja sobre a fase de <i>design</i> / fabricação, sabe-se que muitos problemas do descarte (não reinserção na cadeia) estão ligados ao <i>design</i> / fabricação. Por isso, creio que uma pergunta como essa pode agregar.	De acordo. Adicionou-se a questão (11).	Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira Questão: 11) Quais os impactos sociais ou ambientais o(a) Sr.(a) acha que a não revalorização dos equipamentos eletroeletrônicos (descarte inadequado) pode ocasionar?
Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira	Inserir questão acerca do acordo setorial,	De acordo.	Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira

Conteúdo da versão original do instrumento	Apontamentos dos juízes	Considerações do pesquisador	Conteúdo da versão validada do instrumento
	para saber se o entrevistado tem conhecimento.	Adicionou-se a questão (13).	Questão: 13) O(a) Sr.(a) tem conhecimento sobre o acordo setorial para produtos eletroeletrônicos?
<p>Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira</p> <p>Questão: 12) Qual é a sua avaliação sobre a efetividade do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos? Justifique.</p> <p>Questão: 13) Como o acordo setorial para produtos eletroeletrônicos ajuda a resolver a problemática da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?</p>	<p>Inverter a ordem das questões 12 (mais genérica – como o AS ajuda?) e 13 (mais específica – AS é efetivo?).</p>	<p>De acordo.</p> <p>Inverteu-se a ordem das questões.</p>	<p>Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira</p> <p>Questão: 14) Como a formatação atual do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos ajuda a resolver a problemática da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?</p> <p>Questão: 15) Qual é a sua avaliação sobre a efetividade do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos? Justifique.</p>
<p>Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira</p> <p>Questão: 13) Como o acordo setorial para produtos eletroeletrônicos ajuda a resolver a problemática da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?</p> <p>Questão: 14) Como o acordo setorial poderia contribuir para a não geração dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?</p>	<p>Modificar as questões 13 e 14, que possuem uma grande similaridade, para evitar que os entrevistados fiquem confusos.</p>	<p>Os insumos que se espera obter com as referidas questões são divergentes.</p> <p>Optou-se pela modificação da redação das questões a fim de dirimir a possibilidade de confusão apontada pelo juiz.</p>	<p>Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira</p> <p>Questão: 14) Como a formatação atual do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos ajuda a resolver a problemática da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?</p> <p>Questão: 16) Como o acordo setorial poderia contribuir para a não geração dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?</p>
<p>Bloco IV – <i>Design</i> e a fabricação de EEE</p>	<p>Substituir o termo “estratégia”, por “prática”.</p>	<p>De acordo.</p> <p>Modificou-se a redação das</p>	<p>Bloco IV – <i>Design</i> e a fabricação de EEE</p>

Conteúdo da versão original do instrumento	Apontamentos dos juízes	Considerações do pesquisador	Conteúdo da versão validada do instrumento
<p>Questão: 18) Quais estratégias poderiam ser adotadas nas fases de <i>design</i> e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos para possibilitar melhores processos de revalorização na fase de reciclagem?</p> <p>Questão: 19) Quais das estratégias citadas, o(a) Sr.(a) considera mais efetivas?</p>	<p>Uma vez que muitos entrevistados estão acostumados com a execução, esta redação facilitaria o exercício.</p> <p>Dependendo de como a questão 19 for respondida, deve-se perguntar o motivo.</p>	<p>questões para acrescentar a sugestão do juiz.</p>	<p>Questão: 20) Quais práticas poderiam ser adotadas nas fases de <i>design</i> e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos para possibilitar melhores processos de revalorização na fase de reciclagem?</p> <p>Questão: 21) Quais das práticas citadas, o(a) Sr.(a) considera mais efetivas? Por quê?</p>
<p>Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira</p> <p>Questão: 20) Considerando o ambiente político-legal brasileiro e as características da indústria nacional, o(a) Sr.(a) acha que a implementação dessas estratégias é viável?</p>	<p>Solicitar ao entrevistado que justifique ou explique melhor ao final.</p>	<p>De acordo.</p> <p>Modificou-se a redação da questão para acrescentar a sugestão do juiz.</p>	<p>Bloco: III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira</p> <p>Questão: 22) Considerando o ambiente político-legal brasileiro e as características da indústria nacional, o(a) Sr.(a) acha que a implementação dessas práticas é viável? Justifique.</p>
<p>Bloco: IV – <i>Design</i> e a fabricação de EEE</p> <p>Questão: 21) De que maneiras essas estratégias podem ser implementadas para o fechamento do loop e retenção de valor dos produtos/materiais?</p>	<p>Substituir o termo <i>loop</i> por equivalente em português, para torná-lo mais claro ao entrevistado.</p>	<p>De acordo.</p> <p>Modificou-se a redação da questão para acrescentar a sugestão do juiz.</p>	<p>Bloco: IV – <i>Design</i> e a fabricação de EEE</p> <p>Questão: 23) De que maneiras essas práticas podem ser implementadas para o fechamento do ciclo produtivo e retenção de valor dos produtos/materiais?</p>
<p>Bloco: IV – <i>Design</i> e a fabricação de EEE</p> <p>Questão: 23) O(a) Sr.(a) tem</p>	<p>Dar exemplos de medidas/iniciativas na pergunta para</p>	<p>De acordo.</p> <p>Modificou-se a redação das questões para</p>	<p>Bloco: IV – <i>Design</i> e a fabricação de EEE</p> <p>Questão: 25) O(a) Sr.(a) tem conhecimento de</p>

Conteúdo da versão original do instrumento	Apontamentos dos juízes	Considerações do pesquisador	Conteúdo da versão validada do instrumento
conhecimento de alguma política de incentivo a fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos para a implementação de medidas de economia circular no Brasil?	esclarecer o questionamento ao entrevistado.	acrescentar a sugestão do juiz.	alguma política de incentivo a fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos para a implementação de medidas de economia circular no Brasil, como a aplicação de materiais reciclados e recicláveis e o desenvolvimento de novos materiais e/ou técnicas produtivas para reduzir a quantidade de resíduos gerados nos processos produtivos de equipamentos eletroeletrônicos?

**Quadro 10 – Modificações realizadas na versão original do roteiro de entrevista semiestruturada**

Fonte: Autoria própria (2023).

A versão do instrumento qualitativo de pesquisa validado pelos juízes é apresentada no Apêndice A desta dissertação.

A amostra da pesquisa foi composta por meio da técnica *snowball*, caracterizada como uma amostra não-probabilística formada solicitando-se a um grupo de indivíduos de uma população para apontarem outros indivíduos repetidamente até a saturação (Thompson, 2012). Para tanto realizou-se um levantamento inicial de representantes de organizações de interesse ( $n = 8$ ), isto é, *stakeholders* do SLR para EEE brasileiro firmado a partir da assinatura do acordo setorial, tal como sugerem Souza *et al.* (2015). O quadro a seguir apresenta a síntese dos *stakeholders* identificados em levantamento inicial para composição de amostra não-probabilística.

Organização	Tipo	Signatária do acordo setorial
Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima – MMA	Ente governamental (poder público)	Sim
Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Sim

<b>Organização</b>	<b>Tipo</b>	<b>Signatária do acordo setorial</b>
Associação Brasileira da Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação – ABRADISTI	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Sim
Federação das Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação – ASSESPRO Nacional	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Sim
Green Eletron	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Sim
Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos – ABREE	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Não
Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Não
Instituto de Direito Coletivo – IDC	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos/Organização do Terceiro Setor	Não

**Quadro 11 – Stakeholders identificados em levantamento inicial**

Fonte: Autoria própria (2022).

Os representantes das organizações identificadas no levantamento inicial foram contatados por meio de telefone, e-mail e/ou perfil no LinkedIn para convite à participação na entrevista semiestruturada.

Valendo-se da amostragem *snowball*, foram indicados à participação na pesquisa um total de 29 indivíduos, cujos dados para contato foram compartilhados pelos próprios participantes que os indicaram. Destes, foram contatados 17 indivíduos com base na relevância do *stakeholder* indicado e na frequência de indicação, visto que alguns *stakeholders* foram indicados mais de uma vez. Na ocasião do contato, apresentou-se o objetivo da pesquisa, os procedimentos a serem empregados e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE. Com base na anuência do convidado, agendou-se a realização da entrevista.

Ao total, foram realizadas 12 entrevistas (~71% do total de *stakeholders* indicados), quantidade na qual foi atingida a saturação teórica ou saturação de dados que, de acordo com Bowen (2008), ocorre por meio da inclusão de participantes no estudo continuamente até que o conjunto de dados esteja completo, isto é, haja replicação ou redundância dos dados e que nada novo seja adicionado. Guest *et al.* (2006) apontam que, para pesquisas cujo objetivo é compreender percepções e experiências comuns entre um grupo relativamente homogêneo de indivíduos, a saturação é obtida em torno de doze entrevistas, mas alertam que esse número pode ser insuficiente se o grupo selecionado for heterogêneo, a qualidade dos dados for pobre e o domínio da investigação for difuso ou vago. Portanto, considerando as características dos indivíduos que compuseram a amostra e a qualidade das respostas obtidas, avaliou-se como adequado a quantidade de entrevistas realizadas até a saturação.

As entrevistas foram realizadas a distância, em formato virtual, o que possibilitou um maior alcance de *stakeholders*, visto que as organizações estão sediadas em diferentes Unidades da Federação – UF. Para tanto, utilizou-se a Plataforma Microsoft Teams®, uma vez que permite a gravação e a transcrição das falas em tempo real para posterior categorização e análise.

As transcrições das entrevistas foram tabuladas em planilha eletrônica, com apoio do *software* Microsoft Excel®, para possibilitar a análise dos dados e estruturação do problema de pesquisa segundo a abordagem SODA.

A opção pelo SODA, dentre os demais PSM, justificou-se por seu foco no suporte à estruturação e percepção do problema, visto que oferece uma maior interação e entendimento do problema aos atores, que possuem diferentes interesses e pontos de vista, para o estabelecimento de um plano de ação para o endereçamento de soluções (Guarnieri *et al.*, 2016). O processo de aplicação do método SODA é composto pelas seguintes etapas fundamentais: i) a elaboração dos mapas cognitivos individuais com base nos dados obtidos nas entrevistas semiestruturadas; ii) a consolidação dos mapas individuais no mapa do grupo; e, iii) apresentação dos mapas aos entrevistados para o consenso e acordo do grupo quanto à análise resultante do mapa consolidado (Vidal, 2005).

Os mapas cognitivos foram elaborados com o apoio do *software* CMAP Tools® (Versão 6.04) e apresentados aos entrevistados para apreciação, validação e consenso por e-mail. Os retornos obtidos foram analisados pelo pesquisador para aprimoramento dos diagramas. Os resultados obtidos a partir dessas análises são apresentados nas seções 4.2, 4.3 e 4.4 desta dissertação.

### 3.4. Caracterização do setor

Diferente do que ocorre na Europa e nos Estados Unidos, onde uma parte considerável do mercado é proveniente de bens de consumo importados, o setor de EEE brasileiro abrange os mercados de produção, consumo e pós-uso, uma vez que produtos de todas as quatro linhas (branca, azul, verde e marrom, conforme a classificação proposta pela ABDI) são fabricados integralmente no país, embora o *design* pertença a marcas estrangeiras (EMF, 2017).

A indústria de EEE, assim como os demais segmentos produtivos, está sujeita às ações governamentais e ao cenário econômico do mercado interno e externo (ABINEE, 2017). A crise política que arrefeceu o crescimento econômico a partir de 2014 e a pandemia de Covid-19 em 2020 são exemplos de acontecimentos que impactaram o desempenho do setor de EEE, conforme pode ser observado na figura a seguir (ABINEE, 2022).

INDICADORES	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
FATURAMENTO (R\$ bilhões)	153,8	142,5	129,4	136,0	146,1	153,0	173,2	211,3
FATURAMENTO (US\$ bilhões)	65,3	42,7	37,2	42,6	40,0	38,8	33,6	39,2
FATURAMENTO/PIB (%) <sup>(1)</sup>	2,7	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	2,4
FATURAMENTO/PIB INDUSTRIAL (%) <sup>(1)</sup>	11,2	10,6	9,7	9,8	9,5	9,5	11,3	11,0
PRODUÇÃO FÍSICA (var. ano %) <sup>(2)</sup>	-5,0%	-20,9%	-10,2%	6,5%	1,0%	0,1%	-1,8%	1,4%
NÚMERO DE EMPREGADOS (em mil)	293,6	248,1	232,8	234,2	232,2	234,5	247,3	263,8
FATURAMENTO/EMPREGADO (US\$ mil)	222,5	172,1	159,6	181,9	172,1	165,4	135,8	148,5
INVESTIMENTOS EM ATIVO FIXO (% sobre o faturamento)	2,49%	2,27%	1,84%	1,84%	1,84%	1,80%	1,68%	1,70%
INVESTIMENTOS EM ATIVO FIXO (R\$ milhões)	3.831	3.236	2.381	2.508	2.694	2.754	2.910	3.592
UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA <sup>(3)</sup>	82%	69%	71%	77%	74%	78%	78%	79%

**Figura 9 – Indicadores econômicos referentes ao setor de eletroeletrônicos**

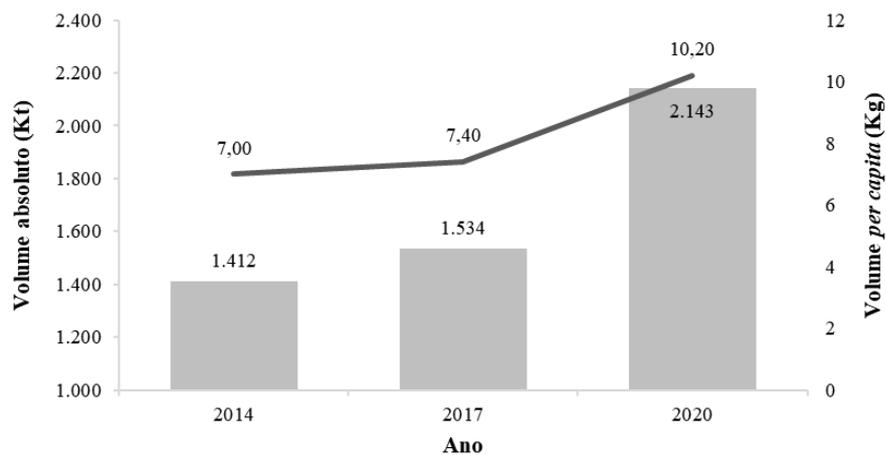
Fonte: ABINEE (2022).

<sup>(1)</sup> PIB a preços correntes.

<sup>(2)</sup> Pesquisa Industrial Mensal – PIM/Produção Física – PF do IBGE/Aggregação ABINEE

<sup>(3)</sup> Considerando a capacidade total = 100%

Apesar disso, incentivos fiscais e de crédito nas últimas décadas estimularam o *boom* do consumo de EEE no país por todos os estratos sociais, sustentando, por um lado, a linearidade do setor e, por outro, o aumento do volume de REEE gerados no Brasil (EMF, 2017), conforme ilustrado na figura a seguir com base nos dados divulgados nas edições de 2014, 2017 e 2020 do Monitor Global de Lixo Eletrônico da Universidade das Nações Unidas (Baldé *et al.*, 2014, 2017; Forti *et al.*, 2020).



**Figura 10 – Volume de REEE gerado no Brasil por ano**

Fonte: Autoria própria (2022).

Os números de reciclagem, entretanto, não acompanham o volume de REEE gerado. Em 2020, o sistema da Green Eletron, empresa gestora da logística reversa para equipamentos eletroeletrônicos no Brasil coletou e destinou adequadamente somente 175 toneladas de REEE. Esse montante representa o reaproveitamento de cerca de 34 toneladas de metais ferrosos e não ferrosos e 22,3 toneladas de plástico, e o impedimento da emissão de 195 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Ao total, somam-se 731 PEV para EEE em 188 municípios de 13 unidades da federação (ABRELPE, 2021).

Com a assinatura do acordo setorial para a implementação do SLR para EEE, foram estabelecidas metas de coleta de REEE, instalação de PEV e municípios atendidos para os cinco primeiros anos. Dessa forma, espera-se que até 2025 mais de 5.000 PEV sejam instalados nos 400 maiores municípios do país, que representam 60% de toda a população nacional. Naquele ano, espera-se coletar 17% de todo o volume de EEE inseridos no mercado nacional em 2018 (ano tomado como referência para fins das metas do acordo setorial) (MMA, 2022).

Vale destacar que a recenticidade da implementação do acordo setorial e da intensificação das discussões acerca dos REEE está refletida no nível de conhecimento da população geral sobre o assunto. Em pesquisa realizada pela Green Eletron (2021), 71% dos participantes alegaram que não há muita informação na mídia sobre o lixo eletrônico e seu descarte correto. Embora 87% da população brasileira já tenha ouvido falar em lixo eletrônico, 33% acreditam que o conceito está relacionado ao meio digital (com spam, e-mail ou arquivos) e 7% não sabem dizer o que é, conforme ilustrado na figura a seguir.

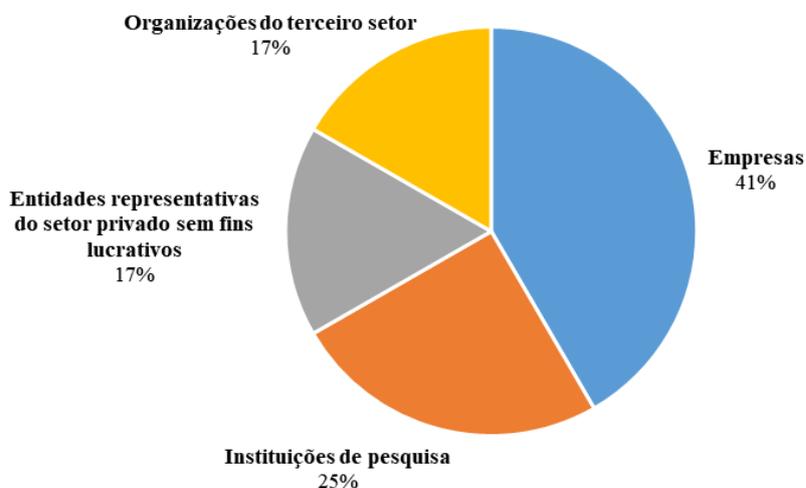


**Figura 11 – Conhecimento da população sobre o lixo eletrônico**

Fonte: Green Eletron (2021).

### 3.5. Caracterização dos participantes

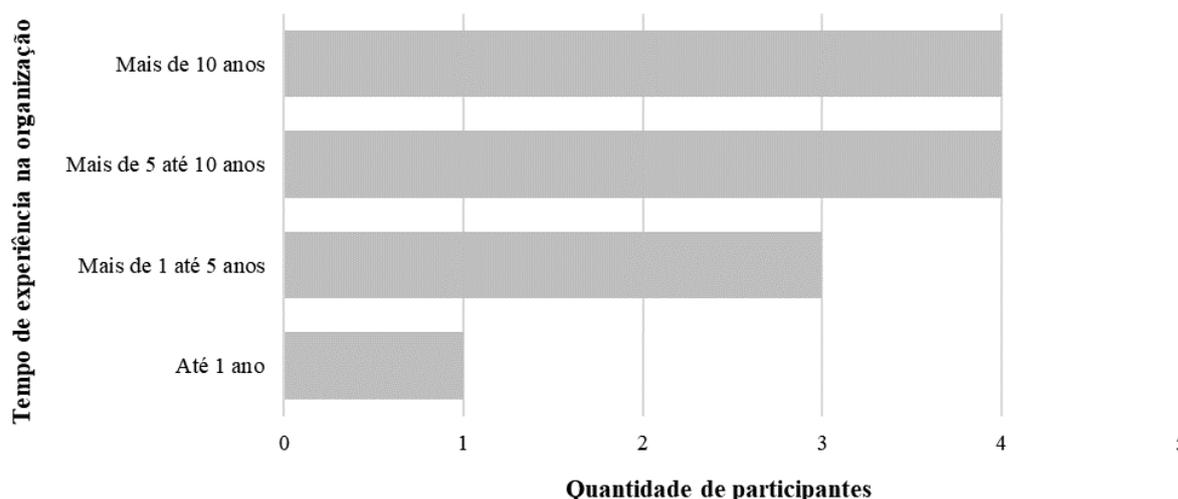
A coleta dos dados da pesquisa empírica contou com a participação de 12 indivíduos representantes de organizações distintas e atuantes no campo organizacional. Estas organizações configuram-se em 4 diferentes tipos: i) empresas (n = 5); ii) entidades representativas do setor privado sem fins lucrativos (n = 2); iii) organizações do terceiro setor (n = 2); e, iv) instituições de pesquisa (n = 3). A figura a seguir ilustra a distribuição dos participantes por tipo de organização.



**Figura 12 – Distribuição dos participantes por tipo de organização**

Fonte: Autoria própria (2023).

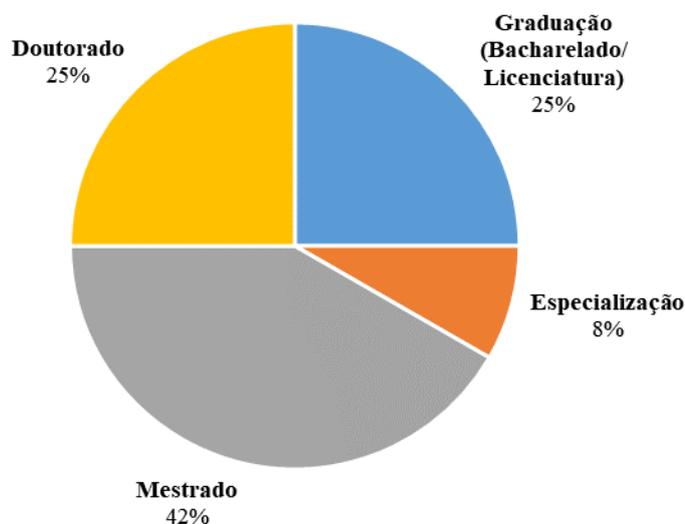
Os participantes possuem, em média, o equivalente a 8 anos e 7 meses de atuação nas organizações que representam, sendo que mais da metade deles (~67%) possuem mais de 5 anos de atuação nessas organizações, conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 13 – Distribuição dos participantes por tempo de experiência na organização**  
Fonte: Autoria própria (2023).

Por se tratar de organizações de naturezas distintas, os cargos/funções desempenhadas pelos participantes são variados. Dentre os indivíduos representantes de empresas, foram entrevistados ocupantes de cargos de Gerentes (de Sustentabilidade, e de ESG e Economia Circular), de Coordenador Geral, de Diretor Executivo e de Membro de Comitê Executivo. Dentre os indivíduos representantes de instituições de pesquisa, foram entrevistados ocupantes de cargos de professor associado e de pesquisador titular. Dentre os indivíduos representantes de entidades representativas do setor privado sem fins lucrativos, foram entrevistados ocupantes de cargos de Gerente Executivo e de Especialista. E, por fim, dentre os indivíduos representantes de organizações do terceiro setor, foram entrevistados ocupantes de cargos de Gestor de Projetos Sênior e de Secretário Executivo.

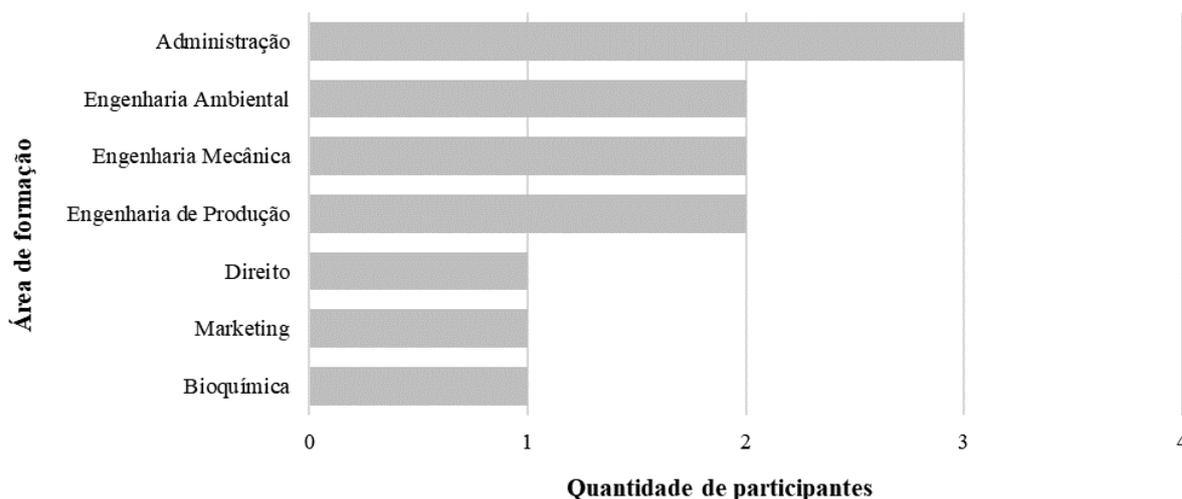
Quanto ao nível de escolaridade, todos os participantes possuem nível superior completo, sendo que 75% deles possuem pós-graduação (*latu sensu* ou *stricto sensu*) concluída, conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 14 – Distribuição dos participantes por nível de escolaridade**

Fonte: Autoria própria (2023).

As áreas de formação dos participantes também são diversas, variando entre as ciências sociais aplicadas e as engenharias. Dentre os 12 entrevistados, 3 possuem formação em Administração, 2 em Engenharia de Produção, 2 em Engenharia Mecânica, 2 em Engenharia Ambiental, 1 em Bioquímica, 1 em Marketing e 1 em Direito, conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 15 – Distribuição dos participantes por área de formação**

Fonte: Autoria própria (2023).

Em síntese, os indivíduos que participaram da coleta de dados possuem um nível de especialização aprofundado sobre o objeto do estudo e um tempo de experiência considerável nas organizações representativas, o que lhes confere conhecimentos e *expertise* relevantes para contribuir com o desenvolvimento da pesquisa.

Para fins da tabulação dos dados coletados, esses indivíduos foram identificados por meio de um código numérico que será utilizado ao longo da apresentação dos resultados e discussão da pesquisa para diferenciá-los e para possibilitar a análise das percepções compartilhadas de acordo com as suas características. O quadro a seguir apresenta a relação dos participantes entrevistados.

<b>Código identificador</b>	<b>Tipo de organização</b>
ENT001	Empresa
ENT002	Instituição de pesquisa
ENT003	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos
ENT004	Organização do terceiro setor
ENT005	Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos
ENT006	Empresa
ENT007	Instituição de pesquisa
ENT008	Organização do terceiro setor
ENT009	Empresa
ENT010	Empresa
ENT011	Instituição de pesquisa
ENT012	Empresa

**Quadro 12 – Relação dos participantes entrevistados**

Fonte: Autoria própria (2023).

### **3.6. Cuidados éticos com a pesquisa**

Conforme disposição da Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde – CNS, pesquisas de opinião pública com participantes não identificados não devem ser registradas ou avaliadas pelo sistema de Comitês de Ética em Pesquisa do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa – CEP/CONEP. Nos termos da referida resolução, a pesquisa de opinião pública é compreendida como

consulta verbal ou escrita de caráter pontual, realizada por meio de metodologia específica, através da qual o participante, é convidado a expressar sua preferência, avaliação ou o sentido que atribui a temas, atuação de pessoas e organizações, ou a produtos e serviços; sem possibilidade de identificação do participante (CNS, 2016, inciso XIV, art. 2º).

Complementarmente, vale destacar que a pesquisa realizada não foi direcionada à população vulnerável, não realizou experimentos com seres humanos ou animais, bem como não tratou de assunto sensível.

Os indivíduos entrevistados, ao serem contatados para convite à participação na pesquisa por e-mail e/ou telefone, receberam as devidas instruções e informações sobre o objetivo do estudo, assim como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE, apresentado no Apêndice B desta dissertação, a fim de que atestassem sua anuência em participar voluntariamente da entrevista para a coleta de dados. A esses indivíduos foi facultada a opção de não responder qualquer uma das perguntas constantes no roteiro de entrevista, bem como de retirar o consentimento de participação na pesquisa a qualquer momento, mesmo após a coleta dos dados, independente do motivo e sem prejuízos à sua pessoa.

Os registros escritos, de áudio ou vídeo provenientes da entrevista foram identificados por meio de códigos numéricos para tratamento pelo pesquisador e pela orientadora responsável com o devido sigilo.

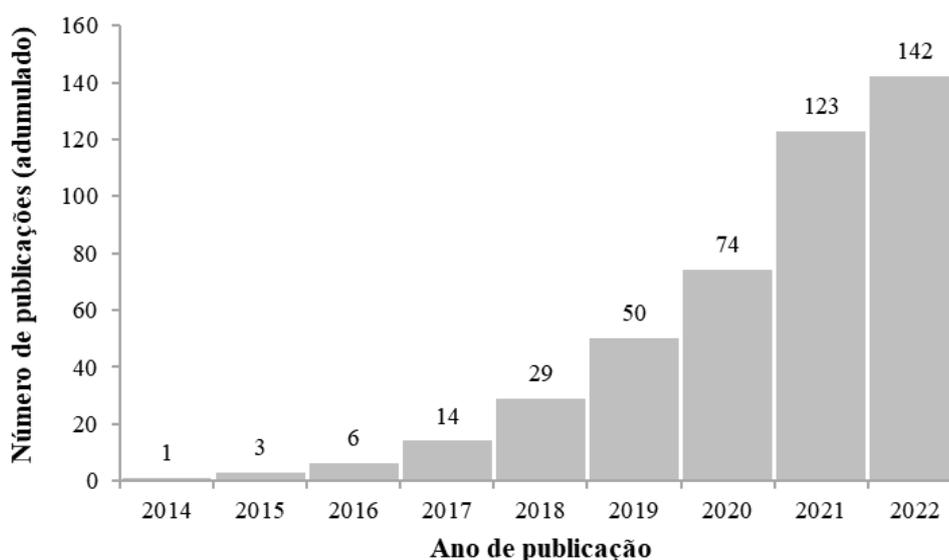
## 4. RESULTADOS

Esta seção do trabalho apresenta os resultados das pesquisas teórica e empírica realizadas e desdobra-se em quatro subseções que abordam, respectivamente, i) os princípios da economia circular referentes às fases de design e fabricação de equipamentos na literatura, afim ao OE 1 ii) os gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira, afim ao OE 2; iii) a institucionalização dos princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos, afim ao OE 3; e iv) a contribuição das alternativas levantadas aos gargalos mapeados da cadeia de revalorização de REEE brasileira, afim ao OE 4.

### 4.1. Princípios da economia circular referentes às fases de *design* e fabricação de equipamentos na literatura

Esta seção apresenta os resultados da revisão integrativa de literatura – RIL acerca do estado da arte das implicações da economia circular no *design* e na fabricação de equipamentos eletroeletrônicos. Para a composição do portfólio de artigos científicos, utilizou-se o protocolo *Methodi Ordinatio* (Pagani *et al.*, 2015), detalhado na seção 3.2 desta dissertação.

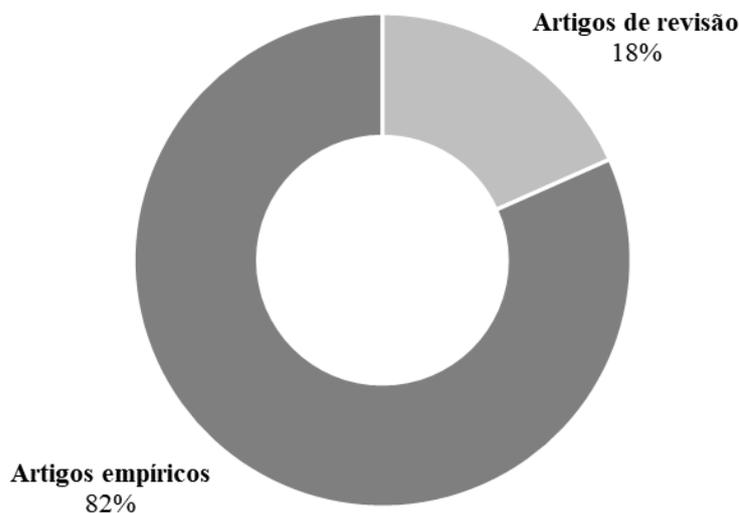
A aplicação do protocolo possibilitou a identificação de 142 publicações entre 2014 e a data da consulta às bases de dados para esta RIL, realizada em março de 2022. Ao longo da série histórica foi possível observar um aumento médio de 44,15% no número de publicações ao ano, cujo ápice foi registrado no ano de 2021, quando 49 artigos foram publicados (34,51%). A figura a seguir ilustra o número de publicações acumulado nos últimos 8 anos.



**Figura 16 – Número de publicações acumulado nos últimos 8 anos**

Fonte: Autoria própria (2022).

Dentre os artigos identificados na RIL (n = 142), observou-se uma predominância de publicações referentes a pesquisas empíricas (n = 116) em relação a revisões de literatura ou ensaios teóricos (n = 26), conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 17 – Tipo de publicação dos artigos identificados na RIL**  
 Fonte: Autoria própria (2022).

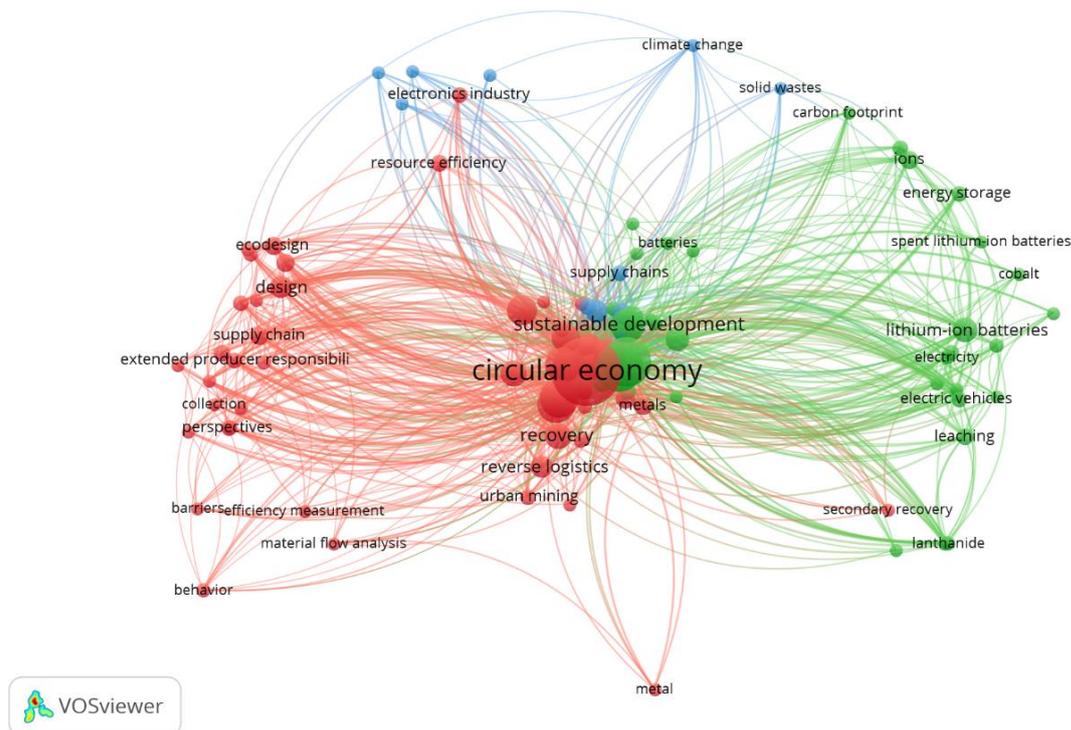
Esses artigos foram publicados em 63 periódicos distintos, dentre os quais destacam-se (em número de publicações) o *Journal of Cleaner Production* (n = 21), o *Resources, Conservation and Recycling* (n = 18) e o *Sustainability (Switzerland)* (n = 12), conforme apresentado na Tabela 2.

#	Periódico	Número de publicações	SJR 2020
1	Journal of Cleaner Production	21	1,937
2	Resources, Conservation and Recycling	18	2,468
3	Sustainability (Switzerland)	12	0,612
4	Waste Management	7	1,807
5	Journal of Industrial Ecology	4	2,377
=5	Journal of Environmental Management	4	1,441

**Tabela 2 – Periódicos com o maior número de publicações**  
 Fonte: Autoria própria (2022).

As categorias dos periódicos referentes às publicações identificadas possuem um alto nível de heterogeneidade. Observando a classificação proposta pelo SJR, foram identificadas 97 categorias distintas. As categorias mais recorrentes dentre os artigos analisados foram





**Figura 19 – Rede de palavras-chave dos autores**  
 Fonte: Autoria própria (2022).

Na figura é possível observar a existência de dois *clusters* bem delimitados, cuja intersecção é o termo economia circular. O *cluster* indicado pelas palavras-chave em verde refere-se a estudos de caráter predominantemente técnico, nos quais são analisados e desenvolvidos procedimentos para a promoção e o aprimoramento das estratégias da economia circular sob a ótica das ciências físicas e químicas, e de materiais. O *cluster* indicado pelas palavras-chave destacadas em vermelho, por sua vez, refere-se a estudos de caráter predominantemente gerencial, isto é, pesquisas cujo objeto volta-se à análise de práticas e modelos relacionados à economia circular nos níveis micro, meso e macro.

Para o aprofundamento da análise do conteúdo das publicações, priorizou-se os artigos identificados na RIL (n = 142) com base no Índice *Ordinatio*, à luz das diretrizes metodológicas estabelecidas no protocolo *Methodi Ordinatio*, que classifica sua relevância com base em três critérios: i) ano de publicação; ii) número de citações; e, iii) fator de impacto do periódico. Desta forma, realizou-se a análise de conteúdo dos 36 artigos científicos com o maior Índice *Ordinatio*, dos quais 9 (25,00%) pertenciam ao *cluster* verde, referente a estudos de caráter técnico e 27 (75,00%) pertenciam ao *cluster* vermelho, referente a estudos de caráter gerencial.

Dentre os **estudos de caráter técnico** analisados (n = 9), verificou-se referência a dois tipos de equipamentos principalmente: as placas fotovoltaicas (Farrell *et al.*, 2020), as baterias

de íons de lítio (Chan *et al.*, 2021; Makuza *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2021; Piątek *et al.*, 2021; Thompson *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2021). Na análise das rotas de reciclagem mais eficientes para os módulos de placas fotovoltaicas pós-consumo, Farrell *et al.* (2020) dissertam sobre a pirólise como o método com menor consumo energético e maior percentual de recuperação dos materiais poliméricos contidos nas placas.

As baterias de íons de lítio (ou LIBs, da sigla em inglês) configuram-se como objeto de preocupação emergente dada sua variedade de aplicações e natureza dos componentes. Com a popularização dos carros elétricos, a problemática torna-se mais evidente, conforme sugerem Martins *et al.* (2021) e Chan *et al.* (2021). As principais tecnologias para recuperação de materiais em baterias usadas são: i) a regeneração; ii) a pirometalurgia; iii) a hidrometalurgia; iv) a combinação de processos piro-hidrometalúrgicos (Chan *et al.*, 2021; Makuza *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2021).

Cabe destacar que o desenvolvimento de processos ambientalmente benignos para o tratamento de baterias usadas é um aspecto crítico para a aplicação da economia circular no contexto dos REEE. Neste sentido, Wu *et al.* (2020) propõem uma técnica, por meio de estudo experimental, com o uso de cascas de frutas cítricas para a recuperação de metais de baterias usadas. Piątek *et al.* (2021) corroboram, sugerindo a aplicação de materiais de origem orgânica como substitutos na produção de baterias de íons de lítio para reduzir a necessidade de reciclagem.

Em sua maioria, os estudos de caráter técnico possuem um nível de análise micro, isto é, com foco nas práticas de empresas, com exceção dos trabalhos de Yang *et al.* (2021) e Makuza *et al.* (2021), cujas análises incorporaram as implicações dos processos de reciclagem de baterias às práticas observadas no nível macro. Do mesmo modo, dentre os estudos de **caráter gerencial** (n = 27), observou-se uma predominância de estudos com foco de análise micro (51,85%) sobre aqueles de nível macro (37,04%).

Adicionalmente, verificou-se que dos 27 artigos com caráter gerencial, somente 5 abordaram a perspectiva do consumidor na cadeia de revalorização de REEE (Boyer *et al.*, 2021; Hankammer *et al.*, 2019; Ofori *et al.*, 2022; Parajuly *et al.*, 2020; Rasmussen *et al.*, 2020), corroborando e sugerindo a manutenção da lacuna identificada por Bressanelli *et al.* (2020). Os principais critérios de decisão do consumidor em relação ao reparo e à disposição de equipamentos no contexto da economia circular apontados na literatura foram os custos para reparo; custos para solução de problemas; duração para solução de problemas; esforço físico para o reparo; disponibilidade de instruções para o autorreparo; tempo para informações sobre

a disposição; distância de transporte para disposição; esforço físico para disposição; espaço para dispositivos não utilizados; custos para disposição; uso de dispositivos antigos; e, tempo para disposição (Hankammer *et al.*, 2019).

Parajuly *et al.* (2020) analisam as decisões dos consumidores sob a lente das teorias comportamentais (e.g. teoria das escolhas racionais, teorias morais, modelos econômicos e *nudging*) e observam que as intervenções comportamentais sem o conhecimento dos aspectos tecno-econômicos da economia circular pode produzir resultados insuficientes.

Ademais, a indústria 4.0, as novas tecnologias (como a Internet das Coisas – IoT e o *big data*), e os novos modelos de negócios, como os modelos focados no uso/serviço, são analisados na literatura como catalisadores das estratégias para a economia circular por aumentar a eficiência de recursos e estender a vida útil dos produtos (Bressanelli *et al.*, 2018; Nascimento *et al.*, 2019; Pinheiro *et al.*, 2022). A extensão da vida útil dos produtos é destacada como estratégia circular para *design* de equipamentos que possam ter a vida útil prolongada e redução da necessidade de reciclagem de produtos (Bakker *et al.*, 2014; Vanegas *et al.*, 2018).

Em suma, a relevância da economia circular tem refletido o desenvolvimento de novas técnicas e materiais para a fabricação de equipamentos com menor geração de resíduos e rejeitos, bem como de novos modelos de negócios potencializados pelas novas tecnologias. Entretanto, os consumidores, que têm papel preponderante na cadeia de suprimentos, precisam ser mais bem envolvidos por meio de intervenções comportamentais que considerem os aspectos tecno-econômicos da economia circular.

Apesar do aumento do número de pesquisas nos últimos anos e da centralidade que o tema assumiu nas agendas políticas, econômicas e sociais em várias partes do globo, algumas questões de pesquisa permanecem sem o devido endereçamento. O quadro a seguir relaciona o conjunto de recomendações identificados nos artigos priorizados no portfólio da RIL (n = 36) para pesquisas futuras.

<b>Recomendações para pesquisas futuras</b>
Análise da aplicação da estratégia de extensão da vida útil de diferentes tipos de EEE e diferentes contextos.
Desenvolvimento de parâmetros de desempenho relacionados à economia circular para a análise da performance de EEE quanto à reparabilidade, remanufaturabilidade e reciclabilidade.

<b>Recomendações para pesquisas futuras</b>
Análise e desenvolvimento de sistemas de informação integrados para disponibilizar informações relacionadas aos bens produzidos pelos fabricantes aos demais atores da cadeia de suprimentos para otimização dos processos de fim de vida útil dos produtos.
Proposição de <i>frameworks</i> regulatórios e incentivos governamentais que envolvam todos os atores da cadeia de suprimentos para o desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem econômica e ambientalmente viável de diferentes tipos de EEE.
Análise dos desafios (atributos intrínsecos e extrínsecos do comportamento do consumidor) à adoção de modelos de negócios circulares, práticas de reparo e reuso e coleta apropriada de REEE.
Proposição de <i>frameworks</i> de integração de elementos comportamentais às políticas nacionais e/ou regionais de REEE, com base estratégias de mudança de comportamento relacionadas à infraestrutura de gestão de bens pós-consumo e modelos de negócios que facilitem o reuso e a reparação de EEE.
Análise do papel da digitalização na catalização da economia circular.
Análise da variação dos critérios de decisão de consumidores quanto aos EEE e o lixo gerado a partir deles em diferentes contextos (idade, formação, localidade geográfica, entre outros).
Análise do ciclo de vida de insumos de base orgânica empregados no processo de manufatura de EEE, como baterias de íons de lítio.
Desenvolvimento de uma abordagem metodológica sistemática para o desenho e avaliação de ferramenta de intervenções comportamentais às práticas dos consumidores em relação aos EEE e ao tratamento de seus resíduos.

**Quadro 13 – Recomendações para pesquisas futuras identificadas na RIL**

Fonte: Autoria própria (2022).

#### **4.2. Gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira**

Para a compreensão dos gargalos existentes na cadeia de revalorização de REEE brasileira, questionou-se aos participantes da pesquisa “*Na sua visão, quem são os principais atores envolvidos na cadeia de revalorização de REEE no Brasil?*”. As respostas referiram-se a nove diferentes atores: i) catadores (organizados em cooperativas ou não); ii) consumidores; iii) distribuidores; iv) entidade gestora; v) fabricantes; vi) importadores; vii) operadores de manufatura reversa; viii) recicladoras; e, ix) varejistas. Dentre estes, os fabricantes e as recicladoras foram os atores mais citados (n = 5), enquanto a entidade gestora e os importadores foram os menos citados (n = 2).

Durante as entrevistas foi destacado que a atuação desses atores é interdependente e complementar, e que todos possuem igual importância de tal forma que a performance subótima de um deles impacta toda a cadeia conforme comentado pelo ENT007

Todos os atores que estão envolvidos na cadeia de revalorização são importantes. O próprio nome diz “cadeia”. Na falta de um elo essa corrente fica fraca.

Na mesma linha, o ENT009 acrescenta

Toda a cadeia tem o seu papel. Se romper em algum lugar, a gente sempre tem um impacto.

A atuação dos fabricantes tem papel central na cadeia, uma vez que sob eles recai a pressão pela oferta dos equipamentos que, ao final da vida útil, geram resíduos. Ademais, são esses atores quem demandam matérias-primas, concebem os projetos de produto e estabelecem processos produtivos que impactam as formas e níveis de desempenho da atuação dos demais elos da cadeia.

A atuação dos importadores consiste na injeção de EEE no mercado nacional, contudo foi destacado que esses atores não são controlados, fiscalizados e responsabilizados da mesma forma que os demais e, como consequência, gera-se uma concorrência desleal com fabricantes, distribuidores e varejistas que possuem custos associados ao cumprimento das responsabilidades estabelecidas pelo acordo setorial, regulamentado posteriormente pelo Decreto nº 10.240/2020, conforme comentado pelo ENT011

É preciso ter um mecanismo de controle de importação, como é feito com lâmpadas, para os eletroeletrônicos. Eu acho que sem isso, o setor de manufatura brasileiro tem um prejuízo de competitividade que o acordo setorial não foi capaz de evitar e proteger.

A atuação dos distribuidores e varejistas reside no escoamento dos EEE para o mercado. Por estarem mais próximos dos usuários dos equipamentos, alguns entrevistados ponderaram a estes atores uma responsabilidade maior pela comunicação e pela mobilização dos consumidores em prol da conscientização pelo descarte adequado dos bens após o consumo.

O varejista é o elo de informação com o consumidor e deve assumir essa responsabilidade sobre o que está vendendo. Hoje o varejo precisaria estar mais engajado nesse contexto de educar o consumidor e oferecer produtos e serviços que tenham algum compromisso com a questão da economia circular (ENT001).

As empresas do varejo estão começando a aderir e ainda nem todas têm a real consciência do seu papel, que na minha opinião, principalmente, diz respeito a realizar a abrigar um ponto de coleta e estabelecer a comunicação com o usuário. A grande chance que a gente tem de se comunicar com o usuário na logística reversa é no varejo (ENT011).

A atuação dos consumidores foi destacada pela responsabilidade do descarte adequado, a fim de viabilizar a operação dos demais elos da cadeia, e pela decisão do consumo. Ademais, o termo “consumidor” foi utilizado em referência ao usuário dos EEE e, por esta razão, compreende pessoas físicas, empresas e entidades estatais.

Se o usuário, como eu, você, as empresas ou o governo, não faz o descarte, o equipamento “está morto em casa” [*sic*]. (ENT006).

A atuação dos catadores (organizados em cooperativas ou não) reside na coleta dos REEE para encaminhamento ao tratamento adequado, conforme sugerido pelo ENT003

Para revalorizar um determinado produto ou material, você tem que obtê-lo. Então, de alguma forma o processo começa com atores como os catadores de materiais.

A atuação dos operadores de manufatura reversa concentra-se na desmontagem e separação dos materiais. O ENT003, inclusive, diferencia os papéis destes atores e da atuação das recicladoras

Tem empresas que reciclam plástico e metais e tem empresas que recuperam metais preciosos. Essas são várias empresas, mas o primeiro elo é aquele que desmonta e separa os materiais, que às vezes são chamados de recicladores, mas é o nome errado. Eles são desmontadores ou, o termo correto, operador de manufatura reversa.

Neste sentido, as recicladoras foram caracterizadas como os atores cujo papel está relacionado à transformação dos componentes contidos nos equipamentos, que são extraídos, tratados e inseridos nas cadeias produtivas como matérias-primas secundárias, que mitigam a necessidade de extração de matéria-prima virgem do meio ambiente.

E, por fim, a atuação da entidade gestora refere-se à implementação do SLR por meio da conexão dos elos da cadeia. No modelo brasileiro, as empresas, conforme o texto do Decreto nº 10.240/2020, financiam os sistemas repassando recursos a essas organizações, que têm como atribuições a homologação dos operadores e das recicladoras, a implantação de PEVs e realização de campanhas de educação dos usuários finais.

Quando questionados sobre a existência de desafios existentes nesta cadeia (“*Na sua visão existem obstáculos/desafios na cadeia de revalorização de REEE brasileira? Se sim, quais são eles?*”), os participantes foram unânimes em responder afirmativamente, mas divergiram no apontamento dos obstáculos e desafios. Na enumeração dos obstáculos e desafios existentes na cadeia de revalorização, identificou-se cinco tipos diferentes de gargalos relacionados i) à logística; ii) à regulamentação do setor; iii) ao consumidor; iv) ao mercado; e, v) ao *design* dos EEE, conforme detalhado no quadro a seguir.

Tipo	Principais gargalos citados pelos entrevistados
Relacionados à logística	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo de transporte alto em função das distâncias geográficas.</li> </ul>
Relacionados à regulamentação do setor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de incentivos econômicos governamentais;</li> <li>• Falta de fiscalização do cumprimento legal;</li> <li>• Falta de responsabilização dos importadores; e</li> <li>• Tributação cumulativa (ou bitributação).</li> </ul>
Relacionados ao consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de consciência;</li> <li>• Falta de conhecimento;</li> <li>• Visão negativa sobre produtos remanufaturados/reciclados; e</li> <li>• Retenção (ou não descarte).</li> </ul>
Relacionados ao mercado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concorrência desleal com <i>players</i> informais;</li> <li>• Falta de oferta de estímulos ao consumidor;</li> <li>• Falta de comunicação com consumidor;</li> <li>• Distribuição geográfica dos <i>players</i> centralizada nas regiões sul e sudeste; e</li> <li>• Desincentivo à cultura de reparo.</li> </ul>
Relacionados ao <i>design</i> dos EEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de peças universais;</li> <li>• Falta de identificação e classificação de materiais;</li> <li>• Uso de materiais diversos;</li> <li>• Uso de mistura de materiais; e</li> <li>• Uso de cola e juntas que dificultam a desmontagem.</li> </ul>

**Quadro 14 – Principais gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira citados pelos entrevistados**  
Fonte: Autoria própria (2023).

Na visão dos participantes da pesquisa, os gargalos relacionados à logística dizem respeito às dimensões geográficas do Brasil, que tornam os custos de transporte uma barreira potencial ao fluxo de bens e materiais do local de coleta até o local de desmontagem, separação e tratamento.

O Brasil é quase um continente, né? [*sic*]. A maior parte do continente está no Brasil aqui. A gente tem as indústrias todas centralizadas na região sudeste e um pouquinho na região sul, mas os consumidores usam no Brasil inteiro. Então, o custo para mandar o material proveniente de lixo eletrônico de Manaus para ser reciclado em São Paulo, por exemplo, não existe, é muito caro, acaba sendo inviável a operação (ENT006).

A questão logística é extremamente complexa. Não tem comparação com qualquer país europeu. No Brasil cabem aproximadamente 100 países como Portugal e quase

400 vezes a Bélgica. Então esse é um ponto importante para colocar dentro da análise. Comparativamente, é difícil você encontrar algo que tenha paralelo com o Brasil em termos de dimensão territorial. E isso é muito importante quando eu estou falando de logística reversa e de transporte (ENT010).

Os gargalos relacionados à regulamentação do setor dizem respeito à falta de incentivos econômicos governamentais, à falta de fiscalização do cumprimento legal, à responsabilização dos importadores e à tributação cumulativa.

Os incentivos econômicos governamentais foram citados pelos entrevistados em referência ao desenvolvimento de projetos de reciclagem; de tecnologia nacional para o refino de materiais preciosos; de projetos de produto que incorporem princípios de economia circular de forma sustentável; e, de indústrias de manufatura reversa locais. Os entrevistados reconheceram que a adequação dos processos produtivos de *design* e fabricação dos EEE, bem como os procedimentos de tratamento pós vida útil têm um custo que, em última instância, é repassado ao consumidor, tornando estes produtos mais caros do que aqueles que não adotam os mesmos princípios, potencialmente inviabilizando a operação. Por esta razão, os incentivos econômicos citados visam desonerar os *players* da cadeia de revalorização de REEE. Os mecanismos específicos de incentivo citados pelos participantes da pesquisa serão discutidos adiante nesta dissertação.

Se não houver um incentivo, um benefício, para que as empresas adotem essas práticas, não vai acontecer. Isto porque hoje uma empresa que adota todas essas práticas está gastando exatamente igual a outra. Se essa empresa que pratica todos esses conceitos tivesse algum tipo de benefício, com certeza ela iria fazer muito mais e isso iria incentivar as outras empresas que não fazem nada. Então, hoje nós não temos uma política pública que incentiva as empresas, não há (ENT003).

A fiscalização foi apontada como um ponto fraco do ambiente regulatório atualmente, uma vez que não há cobranças e eventuais punições a todos os *players* atuantes no mercado da mesma forma, conforme comentado pelo ENT001

Não dá para ficar só culpando ou apontando o dedo para as empresas que estão fazendo. De um lado temos um grupo de empresas que se reuniu, criou uma gestora e está implementando, operando e investindo pesado nisso. Do outro temos um grupo gigantesco que não está fazendo nada e não está sendo cobrado por isso. Enquanto não houver uma cobrança real, com responsabilização e punições para quem não está fazendo nada, (*o acordo setorial*) vai caindo no descrédito, né? [*sic*], vai perdendo a credibilidade.

Os importadores são responsáveis pela injeção de uma grande quantidade de EEE no mercado. Contudo, não há uma cobrança efetiva quanto a coleta desses produtos tal como aquela realizada aos fabricantes que atuam no mercado nacional.

O importador está escondido, ele é um *free rider* nessa história. Ele está completamente sem ser cobrado. Só que ele está inundando o mercado com produto

eletroeletrônico. A gente tem estimativas da ABINEE que falam que em torno de 40% do mercado é importado. E quem que está se responsabilizando pela logística reversa e, eventualmente, a circularidade, né? [sic] (ENT011).

A tributação cumulativa refere-se à característica do regime tributário vigente que tributa todas as fases da cadeia de igual modo à extração da matéria-prima virgem no ciclo logístico direto, ocasionando a chamada “bitributação”. Dessa forma, onera-se desproporcionalmente a cadeia de revalorização dos resíduos.

Hoje há uma tributação quando se realiza a logística reversa igual ao que se tem quando você extrai uma matéria-prima virgem. Tributa-se cada fase da cadeia: o “cara” que coleta, o “cara” que transporta, o “cara” que recicla e depois o “cara” que reaproveitou o material [sic]. Todos esses tributos acabam transformando uma matéria-prima reciclada às vezes mais cara do que uma matéria-prima virgem (ENT003).

Quando aquele equipamento não vale mais nada, ele deixa de ser equipamento e passa a ser um resíduo. Quando eu busco esse resíduo e trato ele, para eu mandar para a reciclagem, eu preciso pagar um novo imposto mesmo já tendo sido coletado o imposto na origem. Isso precisa acabar urgente. No dia em que aquele resíduo for transformado em uma nova matéria-prima, aí sim faz sentido você vendê-los e tributá-los novamente, mas o fato de a gente coletar e pagar 20% de imposto é surreal. Isso não pode existir mais (ENT006).

Os gargalos relacionados ao consumidor compreendem a falta de consciência referente ao consumo e ao descarte dos resíduos; a falta de conhecimento sobre os procedimentos de destinação adequados; a visão negativa sobre produtos remanufaturados e reciclados ou que contenham material reciclado; e a retenção domiciliar de EEE e/ou de seus resíduos.

O consumidor no Brasil não tem o hábito de descartar. A gente está educando a população, e esse é um processo que vai levar alguns anos ainda (ENT006).

O usuário também tem um papel importante de fazer a sua parte, que é encaminhar corretamente. E tem o papel de aceitar produtos que tenham conteúdo reciclado e não tenham preconceito por causa disso (ENT008).

Os gargalos relacionados ao mercado compreendem a concorrência desleal com *players* informais, a falta de oferta de estímulos ao consumidor, a falta de comunicação com consumidor, a distribuição geográfica dos *players* centralizada nas regiões sul e sudeste e o desincentivo à cultura de reparo.

A concorrência desleal com *players* informais ocorre pela existência de indivíduos (organizados em grupos ou não) que atuam de forma paralela à cadeia formal. Por atuarem na informalidade, esses *players* não passam por processos de licenciamento ambiental e não são tributados, o que lhes confere isenção de custos que oneram os atores formais. A falta de controle e fiscalização da atividade dos *players* informais favorece a ocorrência de externalidades negativas à própria cadeia, tais como o não aproveitamento integral das partes e peças dos EEE

coletados e a exposição das pessoas envolvidas aos riscos associados ao contato desprotegido com materiais e componentes deletérios.

O diretor do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina um dia veio nos visitar e ele me perguntou “Quem é o seu maior concorrente?”. Eu respondi: “São os sucateiros. Eu estou aqui licenciado, dou a cara a tapa para vocês [*sic*]. Se um dia tiverem uma denúncia mínima, virão aqui na minha empresa caçar pelo em ovo [*sic*]. No caminho vão passar por uns cinco sucateiros e vão fingir que não viram nenhum” (ENT012).

Se o concorrente que eu tenho atua totalmente na informalidade, só apresenta o certificado dele e não garante nada da destinação, eu nunca vou concorrer com essa empresa porque, obviamente, os custos dela serão infinitamente menores do que o meu. A gente precisa que essa cadeia inteira seja cobrada da mesma forma. E aí a gente tem os custos reais, uma concorrência justa. Caso contrário, não vai ter como sair da informalidade. Esse setor vai ser totalmente dominado pela informalidade (ENT001).

Uma parcela desses *players* informais é motivada pela autossustentabilidade e que, por esta razão, a formalização desses atores no contexto regulatório e econômico atual poderia inviabilizar sua atuação e, conseqüentemente, ameaçar sua sobrevivência, conforme comentado pelo ENT002

É preciso entender a informalidade. Isso já acontecia antes de se falar em economia circular. As associações e cooperativas de catadores surgiram em função da necessidade de adicionar valor a algo onde não se via e gerar renda. Ou seja, em função de condições de subsistência. Muitos dos entes que fazem parte dessa organização não necessariamente querem se formalizar, e muitos dos que estão na condição informal atendem às demandas que a gente precisa. Se eles formalizarem, seria um custo a mais e eles deixariam de existir. Isso já aconteceu no Brasil, inclusive, e não é interessante (ENT002).

A falta de oferta de estímulos e a falta de comunicação com o consumidor foram apontados como gargalos relacionados ao mercado uma vez que, segundo os entrevistados, compete a esses *players* (fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas) o desenvolvimento de estratégias mercadológicas para levar informação, gerar conscientização e incentivar o descarte.

A centralização geográfica dos *players* atuantes na indústria de manufatura reversa no sul e sudeste do país é resultante de políticas e processos de industrialização focadas nessas regiões e que acabaram por desfavorecer o desenvolvimento de negócios em outras partes do Brasil. Os efeitos desse gargalo são potencializados pelas dimensões continentais do país que, conforme comentado anteriormente, tornam os custos logísticos com o transporte de bens e materiais entre os locais de coleta e tratamento inviáveis à operação.

O desincentivo à cultura de reparo refere-se à prática deliberada de empresas do setor de EEE de desarticular suas redes de assistência técnica e reparo e de venda de peças, partes e componentes.

Seria muito importante que os fabricantes e importadores voltassem a ter redes de assistência técnica e compromissos de garantia de produto. Tem que ser via lei, como a França está fazendo com uma pressão forte ao *right to repair* (ENT012).

Os gargalos relacionados ao *design* dos EEE referem-se a maneira com que os EEE são produzidos atualmente, com a utilização de peças específicas (não universais) e de diversos tipos diferentes de materiais que são misturados, dificultando sua separação, extração e reinserção na cadeia produtiva como matéria-prima secundária. Além disso, o acoplamento das partes e componentes é feito utilizando colagens e juntas de difícil desmontagem. Por fim, não se pratica a identificação e classificação de materiais na montagem.

Os produtos não são feitos para serem reaproveitados, porque o modelo de negócio concebido não viu o valor nisso, então é um problema de design do negócio. E design do produto, é uma derivação do design do negócio. Então, antes de pensar no produto, tem que se pensar “Para quê que serve esse produto? Quem usa?”. A gente tem que retroceder um pouco e repensar como as coisas são produzidas e postas no mercado (ENT004).

Visando identificar possíveis explicações para o *design* dos EEE figurar como um dos gargalos, questionou-se “*O Sr.(a) acha que os equipamentos eletroeletrônicos são otimizados para a fase de reciclagem?*” e não foi observado um consenso entre os participantes. Uma parte menor dos entrevistados afirmou categoricamente que a maneira com que os EEE são concebidos e fabricados atualmente não é otimizada para a fase de reciclagem, conforme comentado pelo ENT011

Com raríssimas exceções, eles são feitos para você jogar fora, para serem baratos, para serem compactos. É tudo colado e difícil de abrir. Não é fácil de desmontar e de separar de partes e peças, seja para a reciclagem, para o reparo ou para a recuperação de peças. Para nada.

Os entrevistados ENT002 e ENT003, inclusive, comentam que essa característica não é exclusiva do Brasil, uma vez que as principais fabricantes de EEE atuantes no mercado brasileiro, independente da linha, são estrangeiras e o desenho dos produtos é concebido no exterior, sem modificações estruturais para o atendimento de mercados específicos, como o brasileiro.

[...] ainda está muito incipiente, internacionalmente falando. O Brasil compra peças, partes e componentes e monta. O *design* é pensado lá fora, por quem está fazendo o produto. A gente deve demandar o produto customizado, preparado para a desmontagem (ENT002).

Eu digo que isso não avançou dentro do Brasil e não avançou no mundo. Muitas empresas multinacionais que têm projetos globais, o mesmo produto que é vendido aqui, é vendido nos Estados Unidos, na Europa e no Japão. O mesmo produto, com as mesmas especificações, mesmos tipos de materiais, mesmo processo de montagem e de desmontagem. São raríssimos os casos de empresas que mudaram o seu projeto pensando numa futura desmontagem, que é o *design for environment* ou *design for disassembly*. Então, isso não avançou (ENT003).

A outra parcela dos entrevistados sugerem que ainda há muito a ser feito, mas que os EEE disponíveis no mercado atualmente possuem algumas características incluídas no projeto de produto com a finalidade de otimizar o tratamento pós-consumo.

Antes da fabricação do equipamento, é importante a gente pensar que os equipamentos são feitos para atender uma tecnologia. O que impulsiona a troca de máquina quase sempre é a tecnologia, não é necessariamente o computador. Isso faz com que os equipamentos estejam mais fáceis de reciclar sim. Um computador hoje, por exemplo, ele pesa mais ou menos 50% do que ele pesava 10 anos e ele pesa mais ou menos 25 a 30% do que ele pesava aqui 15 anos. Antigamente usavam muito ferro, as placas eram muito pesadas e hoje é tudo extremamente leve. Tinha placa mãe que pesava 1,2 kg. Hoje tem placa que pesa 250 g, 300g (ENT006).

Complementarmente, questionou-se “*O Sr.(a) acha que os atores da cadeia de reciclagem estão suficientemente preparados para tratar os equipamentos eletroeletrônicos como são produzidos atualmente? Justifique*”. Neste ponto, os entrevistados também divergiram de opiniões sob diferentes argumentos. Uma parte dos participantes responderam que, em sua percepção, os atores da cadeia estão preparados para tratar os equipamentos eletroeletrônicos como são produzidos atualmente, mas destacaram alguns fatores condicionantes como o tipo de material aplicado e a marca do equipamento.

Depende do material. Como eu te comentei, para alguns materiais os procedimentos para a reciclagem são mais intuitivos, outros não. Os plásticos, por exemplo, são mais complexos para processamento (ENT007).

Eu acho que determinadas marcas sim, mas como não é uma prática generalizada, eu acho que tem muita oportunidade de capacitar esses atores em cooperativas e empresas de reaproveitamento (ENT008).

Assim como o ENT008, outros entrevistados destacaram a existência de oportunidades no mercado dado o aumento da pressão para o cumprimento dos dispositivos da PNRS e a evolução das discussões sobre a economia circular.

Eu acho que sim. E na medida que em que o tempo passa, o mercado vai aquecer. Não vai dar tempo de todo mundo que já está aí atender a demanda, vai surgir gente nova, né? [*sic*]. É um aceno grande, tem muita oportunidade (ENT012).

Sim, inclusive comentei que falta reciclador, né? Aqueles que existem estão preparados. No entanto, o mercado é maior e não está concentrado no Sudeste, então, por consequência, entendo que faltam mais prestadores de serviço nesse tema. Precisamos de mais empresas preparadas para fazer a destinação, até para que esse resíduo não tenha que transitar em todo o território nacional (ENT010).

Um dos entrevistados citou o papel da entidade gestora no processo de homologação das organizações que atuam nesta cadeia, que realiza uma criteriosa avaliação da capacidade e dos recursos disponíveis nestas organizações para conceder a certificação.

Eu acho que sim. A Green Eletron e a ABREE fizeram um processo de certificação muito intenso dos operadores, muito criterioso. Eu não conheço os outros recicladores homologados, mas, seguramente, se eles passaram pelo processo que nós passamos, eu tenho certeza de que eles estão bem-preparados para fazer o processo assim (ENT006).

Por outro lado, uma parte dos entrevistados argumentou que os atores da cadeia de reciclagem não estão suficientemente preparados para tratar os equipamentos eletroeletrônicos como são produzidos atualmente, embora concordem que o cenário de mudança é promissor (no sentido de haver oportunidades no mercado) e que ainda faltam muitos recicladores para atender a demanda nacional.

Não, mas estão se preparando. Na verdade, eu tenho visto nos últimos 10 anos uma mudança muito grande. Em quem são os atores e no grau de profissionalismo desses atores. Antigamente, era tudo amador. Hoje em dia, são empresas licenciadas. Tem norma de desmontagem, tem uma série de questões. As próprias entidades gestoras têm feito processos de homologação com prestadores de serviço. Isso ajuda muito a depurar o mercado (ENT011).

Não e acho que está longe disso. Acho que a gente está numa jornada que já foi pior. A gente vem melhorando e até um exemplo do que a gente executa dentro do nosso ecossistema, a gente trabalha muito essa questão do *feedback loop*. Então a gente pega todo esse *know how* do processo de reciclagem da nossa planta e leva isso para os *designers* dos nossos clientes para que eles repensem no conceito dos produtos (ENT009).

Um dos entrevistados advogou a favor do rigor do processo de homologação realizado pelas entidades gestoras como evidência da falta de preparo adequado dos atores da cadeia.

Pouquíssimos, tá? [*sic*]. Nós temos alguns estudos da academia que falam que existem mais de 400 recicladores de equipamentos eletroeletrônicos dentro do país. A Green Eletron, atualmente, tem 9 empresas homologadas para fazer essa reciclagem, porque somente 9 empresas conseguiram passar pelos requisitos, que são extremamente rígidos, criados pelos associados e que levam em consideração as legislações ambientais (ENT003).

Com base nos atores e gargalos referentes à cadeia de revalorização de REEE no Brasil apresentados anteriormente, explorou-se, junto aos entrevistados, os princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos, bem como possíveis mecanismos para sua institucionalização. Os insumos obtidos possibilitaram a estruturação do problema utilizando a abordagem SODA, que será detalhada na subseção seguinte.

#### 4.3. Alternativas para a institucionalização dos princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos

Inicialmente questionou-se aos participantes da pesquisa sobre o seu entendimento acerca do conceito de economia circular (“*O que o(a) Sr.(a) entende por economia circular?*”), a fim de verificar o alinhamento de sua compreensão anteriormente à enumeração dos princípios aplicáveis às fases de *design* e fabricação. As respostas apresentadas pelos entrevistados estão relacionadas no quadro a seguir.

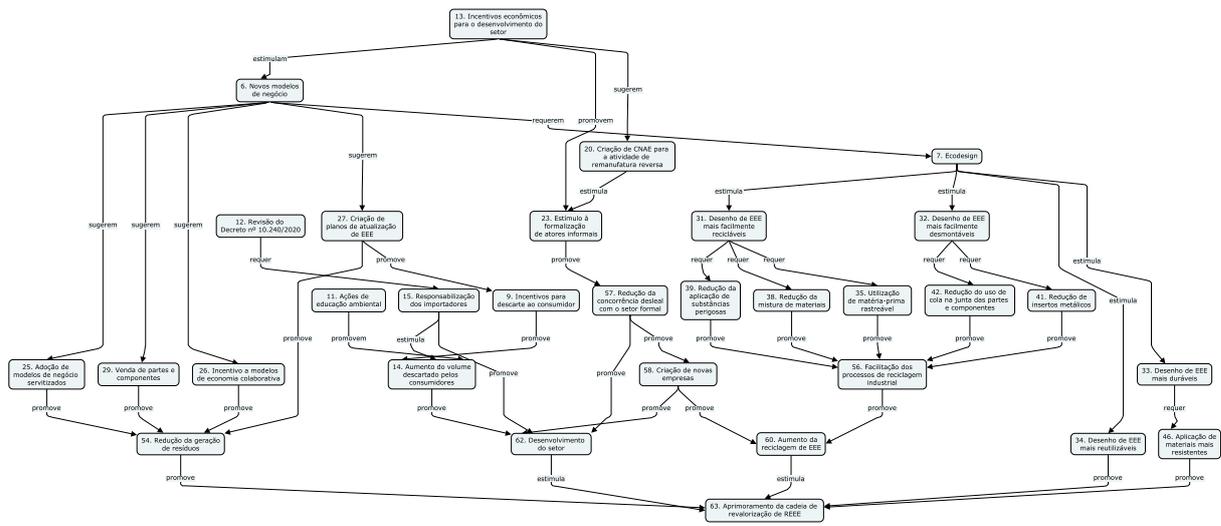
<b>Entendimento dos entrevistados acerca do conceito de economia circular</b>
É um novo conceito de produção e consumo de bens e serviços voltados para otimizar o uso de recursos mantendo o valor, não o financeiro, mas o valor de uso, valor intangível, valor de utilidade desses produtos e materiais pelo maior prazo possível, regenerando o planeta por meio do prolongamento do uso de recursos e matérias-primas (ENT001).
É uma forma de agregar valor por meio da recuperação, da adição e da retenção de valor a bens e serviços (ENT002).
É estar preocupado com todas as fases de um produto desde a extração da matéria-prima até a morte dele e como é que se faz para ressuscitar esse produto ou para ressuscitar os materiais desse produto para introduzir novamente dentro da cadeia (ENT003).
É uma oportunidade para enfrentar os desafios climáticos com o crescimento econômico, oportunidades de emprego e mecanismos de erradicação da miséria e alimentação da raça humana (ENT004).
É um sistema econômico para manter o fluxo circular dos recursos adicionando, retendo e recuperando o seu valor para contribuir com o desenvolvimento sustentável (ENT005).
É a cadeia mais completa de reaproveitamento de produtos sustentáveis (ENT006).
É um conjunto de procedimentos que visa fechar o ciclo técnico e biológico dos materiais, reinserindo-os na cadeia a partir de várias opções e possibilidades de processo (ENT007).
É uma quebra de paradigma e uma fantástica provocação para as pessoas refletirem sobre como decidem e consomem coisas (ENT008).
É uma forma de usar os recursos de forma mais eficiente e mantê-los circulando dentro dos nossos ecossistemas (ENT009).
É uma estratégia para reduzir o impacto de produtos serviços, seja em termos de eficiência energética olhando o ciclo de vida do produto (ENT010).
É uma estratégia da sustentabilidade que tem como objetivo e diferencial manter os recursos naturais extraídos em uso pela sociedade ao maior tempo para promover o maior valor e a maior utilidade possíveis (ENT011).



na facilitação da troca de partes e peças, na criação de planos de atualização dos equipamentos e na eliminação do uso de substâncias perigosas.

A aplicação desses princípios facilitaria processos de reciclagem industrial para o ganho de escala do volume de EEE reciclado e, conseqüentemente, contribuiria para o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE. A formação de novos modelos de negócio também sugere a adoção de modelos de negócio servitizados, a venda de partes e componentes e o incentivo a modelos de economia colaborativa, que contribuiriam para a redução da geração dos resíduos.

O entrevistado ainda sugeriu a necessidade de um ambiente regulatório favorável, que deve ser alcançado por meio da revisão do Decreto nº 10.240/2020 para ampliar a responsabilização dos importadores e da promoção de ações de educação ambiental, com vistas ao aumento do volume descartado pelos consumidores, o que deve estimular o desenvolvimento do setor e a adoção de práticas por *players* do mercado como um mecanismo de isomorfismo mimético. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



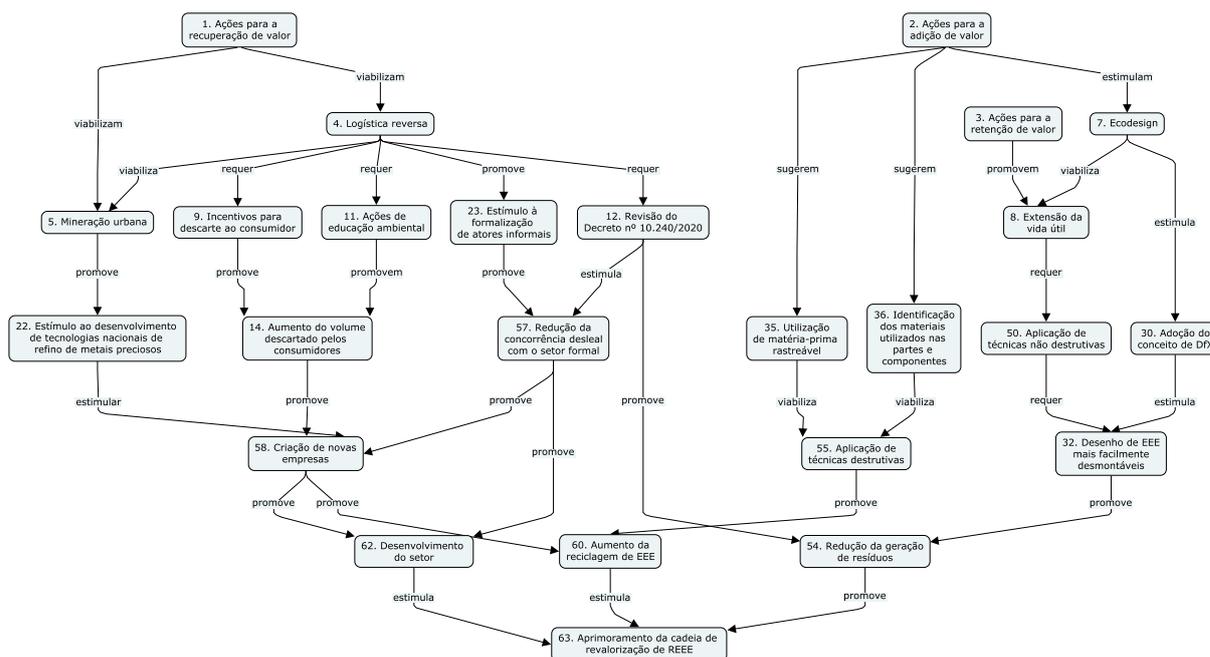
**Figura 21 – Mapa cognitivo individual do ENT001**  
 Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT002 sugeriu que o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE no Brasil seja viabilizado por meio da implementação de ações de recuperação, adição e retenção de valor. As ações de recuperação viabilizam a logística reversa e a mineração urbana, mas requerem incentivos para descarte ao consumidor, ações de educação ambiental e a revisão do Decreto nº 10.240/2020 para a redução da concorrência desleal entre atores formais e informais e a redução da geração de resíduos. As ações de adição de valor sugerem a utilização de matéria-prima rastreável e a identificação dos materiais utilizados nas partes e componentes, além do

estímulo ao *ecodesign* que somado às ações de retenção de valor promovem a extensão da vida útil dos equipamentos.

As ações de adição de valor viabilizam a aplicação de técnicas destrutivas, em que se altera a função original dos equipamentos, e promove o aumento da reciclagem EEE. Por outro lado, as ações de retenção de valor promovem a aplicação de técnicas não destrutivas que requerem equipamentos mais facilmente desmontáveis para a extensão da vida útil e consequente redução dos resíduos gerados.

Na perspectiva do entrevistado, o desenvolvimento do setor requer subsídios para o fortalecimento da indústria de recuperação de valor, por meio do estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos, e o aumento do volume de resíduos descartados pelos consumidores, o que promoveria a criação de novas empresas. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



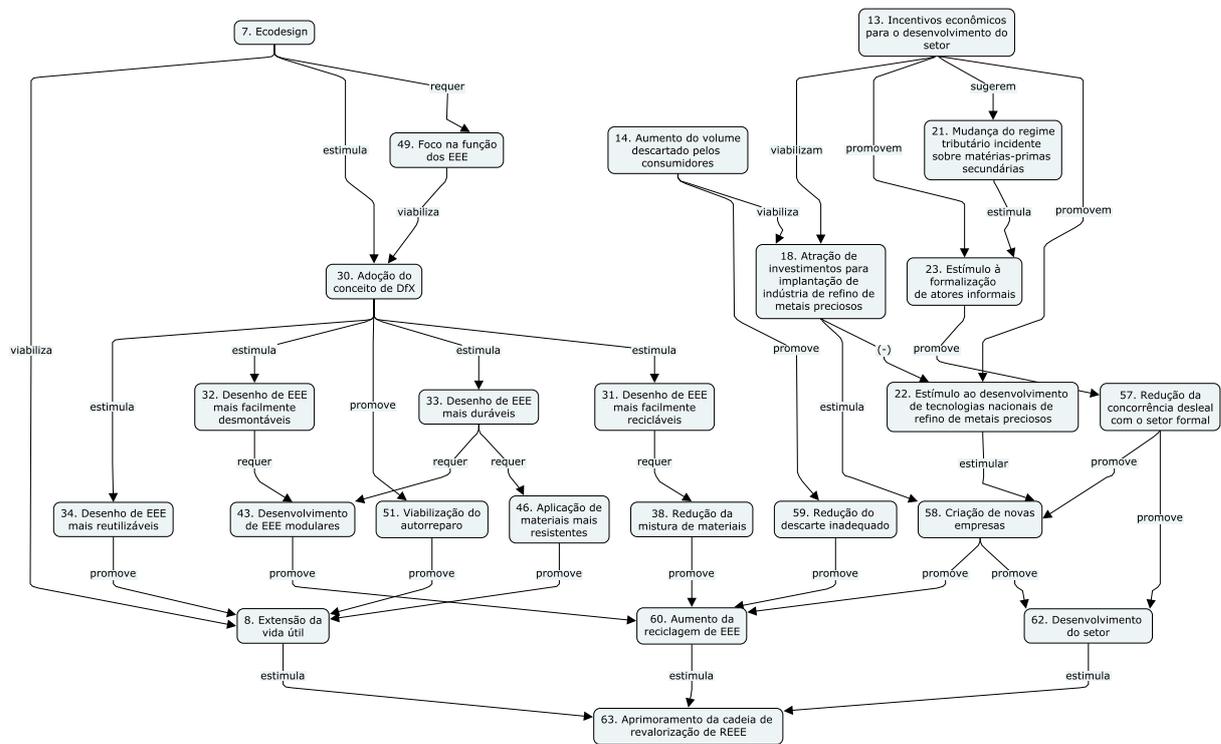
**Figura 22 – Mapa cognitivo individual do ENT002**

Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT003 ponderou que o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE deve partir de equipamentos concebidos sob os preceitos do *ecodesign*, que requerem um foco na função dos EEE e que estimula a adoção do conceito de DfX. O DfX se traduz por meio do desenho de equipamentos reutilizáveis, desmontáveis (modulares), duráveis e recicláveis, que promovem a extensão da vida útil dos equipamentos e o aumento da reciclagem.

Complementarmente, o entrevistado citou que “para revalorizar é preciso obter o produto” e, neste sentido, é necessário aumentar o volume de descarte pelos consumidores e promover incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor, que incluem mudanças no regime tributário incidente sobre matérias-primas secundárias, a atração de investimentos para a implantação de indústria de refino de metais preciosos – ou, alternativamente, o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino –, e a formalização de atores informais para a redução da concorrência desleal.

A adoção dessas práticas contribui para a redução do descarte inadequado e a criação de novas empresas que, conseqüentemente, fortalecem a cadeia produtiva. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.

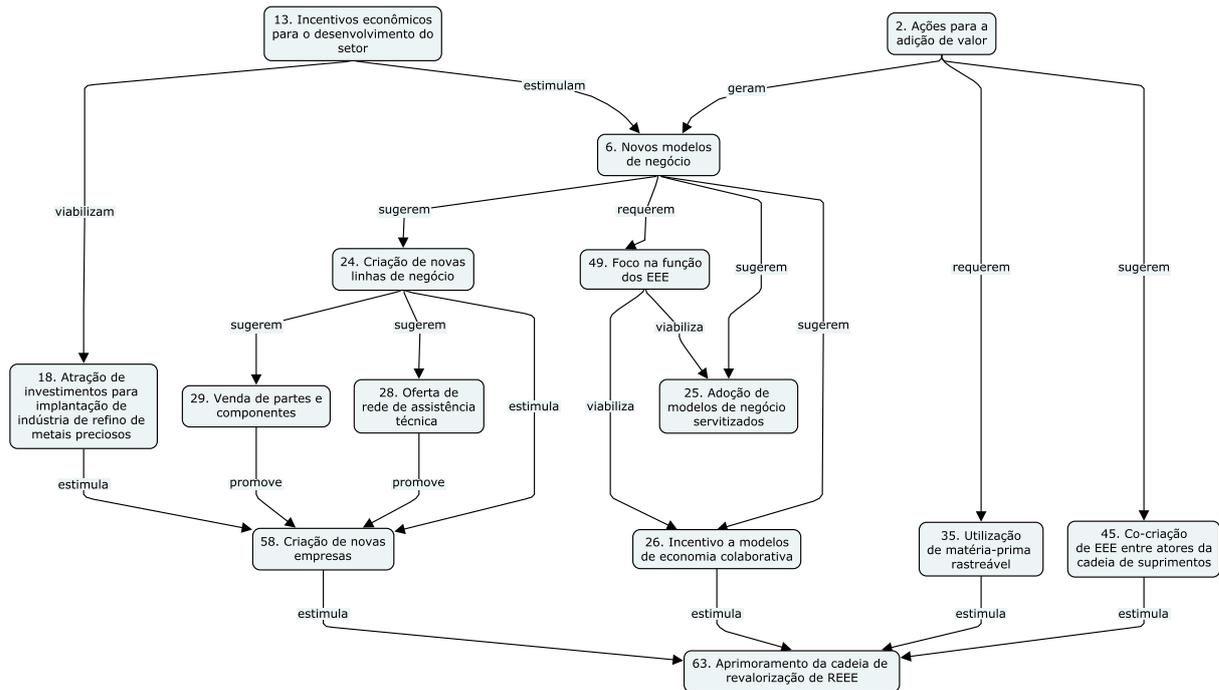


**Figura 23 – Mapa cognitivo individual do ENT003**

Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT004 enfatizou as ações para a adição de valor, que requerem a utilização de matéria-prima rastreável e a cocriação de EEE entre atores da cadeia de suprimentos, e que geram novos modelos de negócio. Esses novos modelos incentivam a reflexão sobre a função do EEE, sugerindo a criação de novas linhas de negócios, a adoção de modelos de negócio servitizados e o incentivo a modelos de economia colaborativa.

O entrevistado destacou que o Estado tem um papel viabilizador e, por isso, a criação de novos modelos de negócio deve ser estimulada por incentivos econômicos governamentais, inclusive para a atração de investimentos para a implantação de indústrias de refino de metais preciosos a fim de reter no mercado nacional aqueles materiais de maior valor agregado na cadeia de revalorização dos REEE. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



**Figura 24 – Mapa cognitivo individual do ENT004**

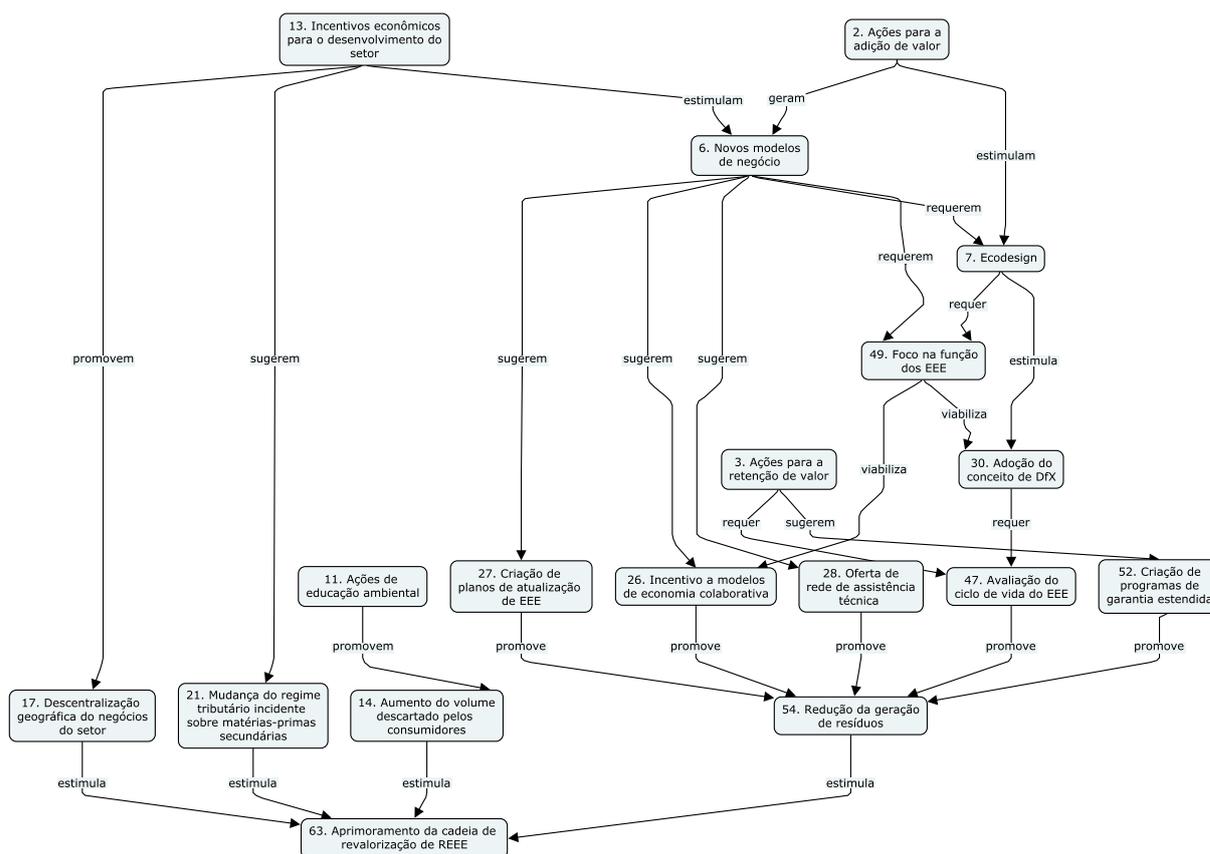
Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

Similarmente ao anterior, o ENT005 destacou as ações para adição de valor e acrescentou as ações para retenção de valor. As ações para adição de valor geram novos modelos de negócio e estimulam o *ecodesign*, onde são utilizados princípios do DfX e foca-se na função dos EEE. As ações para a retenção de valor sugerem a oferta de rede de assistência técnica e criação de programa de garantia estendida. Essas ações, somadas aos novos modelos de negócio de economia colaborativa e de planos de atualização dos EEE, promovem a redução da geração de resíduos.

O entrevistado comentou ainda que os novos modelos de negócio colaborativo devem influenciar os fases de *design* e fabricação de equipamentos na medida em que requerem bens mais duráveis para suportar um padrão de consumo diferente do modelo tradicional em que não há compartilhamento.

Também foram sugeridas ações de educação ambiental para a promoção do aumento do volume descartado pelos consumidores, além de incentivos governamentais para a descentralização geográfica dos negócios do setor e para a mudança do regime tributário incidente sobre matérias-primas secundárias.

A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



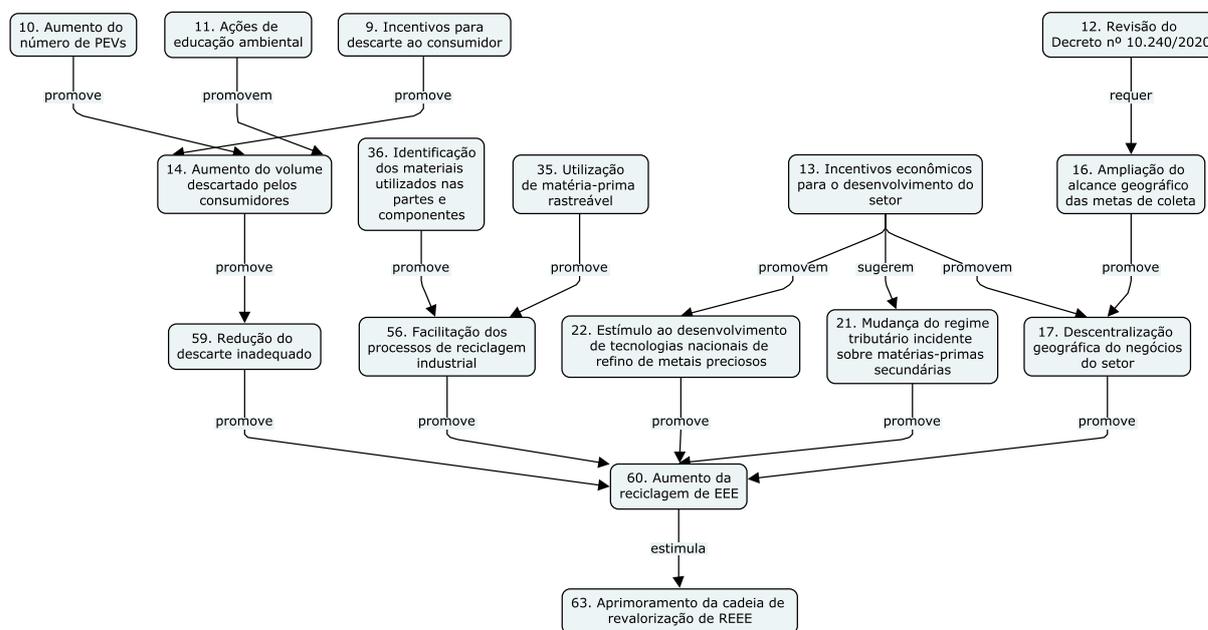
**Figura 25 – Mapa cognitivo individual do ENT005**

Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

Para o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE brasileira, o ENT006 ponderou aspectos que contribuam para o aumento da reciclagem, nomeadamente: i) a redução do descarte inadequado; ii) facilitação dos processos de reciclagem industrial; iii) o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais para o refino de metais preciosos; iv) a mudança do regime tributário sobre matérias-primas secundárias; e, v) a descentralização geográfica dos negócios do setor.

Na sua percepção do entrevistado, a redução do descarte inadequado requer o aumento do número de PEVs, ações de educação ambiental e incentivos para o descarte ao consumidor. A facilitação dos processos de reciclagem industrial é promovida pela identificação dos

materiais utilizados nas partes e componentes e na utilização de matéria-prima rastreável. Os demais aspectos citados são obtidos a partir da revisão do Decreto nº 10.240/2020 e da promoção de incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



**Figura 26 – Mapa cognitivo individual do ENT006**

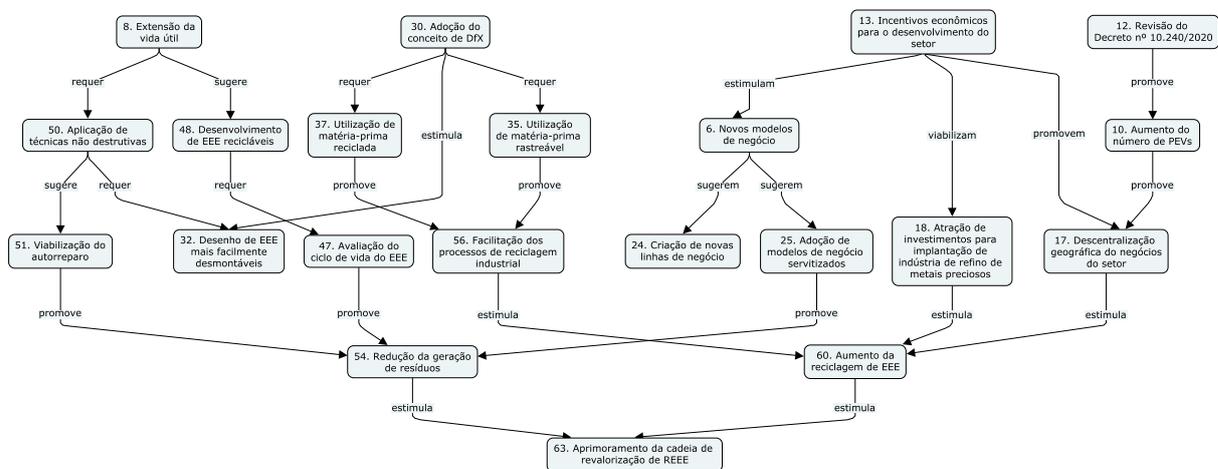
Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT007 comentou que no Brasil os REEE são coletados, especialmente com o advento do acordo setorial, mas não reinseridos na cadeia de revalorização nacional. Para isso, as ações propostas desdobram-se da redução da geração dos resíduos e do aumento da reciclagem de EEE.

Para a redução da geração de resíduos, são requeridas ações para a extensão da vida útil dos equipamentos, compostas pela aplicação de técnicas não destrutivas nos processos de manufatura reversa e no desenvolvimento de EEE recicláveis; e ações para a adoção do conceito de DfX, que requerem a utilização de matérias-primas recicladas, a utilização de matéria-prima rastreável e o desenho de EEE mais facilmente desmontáveis.

Para o aumento da reciclagem de EEE, são requeridos incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor, além da revisão do Decreto nº 10.240/2020 a fim de promover o aumento do número de PEVs e a descentralização dos negócios do setor. Os incentivos devem favorecer a criação de novas linhas de negócios, a adoção de modelos de negócio servitizados e a atração de investimentos para a implantação de indústria de refino de metais preciosos. A

figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.

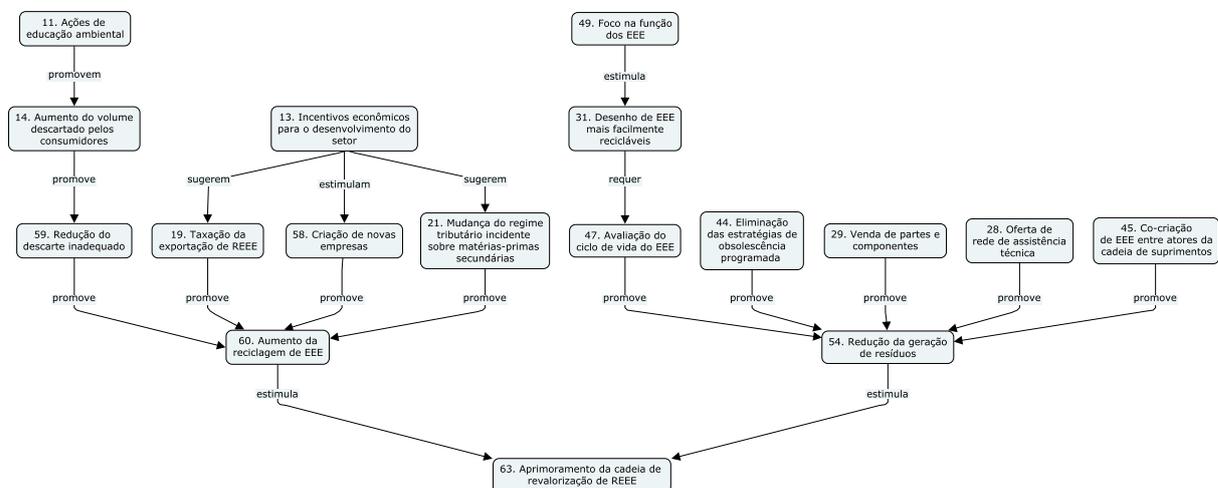


**Figura 27 – Mapa cognitivo individual do ENT007**

Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT008 nomeou ações de educação ambiental para a promoção do aumento do volume descartado pelos consumidores, a taxação da exportação de REEE, o estímulo a criação de novas empresas e mudança do regime tributário incidente sobre matérias-primas secundárias com vistas ao aumento da reciclagem de REEE.

Por outro lado, visando a redução da geração de resíduos, foram citadas a avaliação do ciclo de vida do EEE como estratégia para o desenho de equipamentos mais facilmente recicláveis, a eliminação das estratégias de obsolescência programada, a venda de partes e componentes, a oferta de rede de assistência técnica e a cocriação de EEE entre atores da cadeia de suprimentos. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.

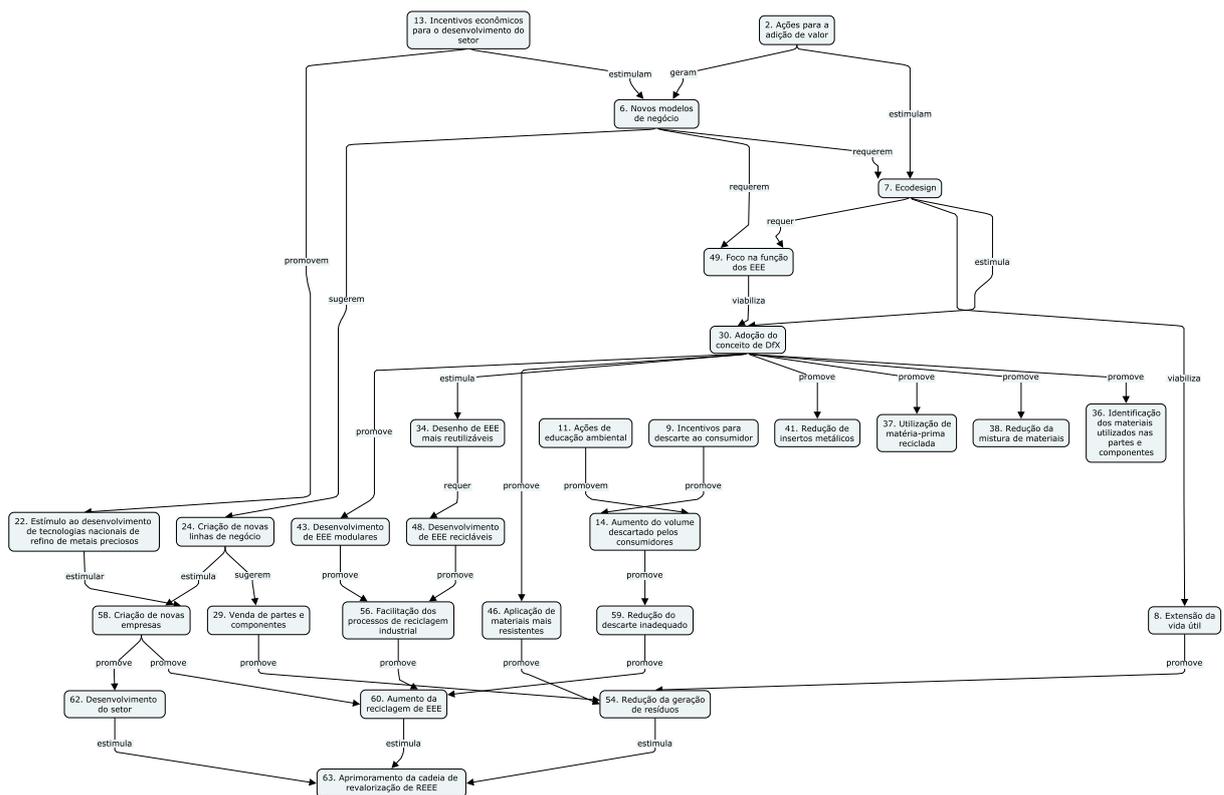


**Figura 28 – Mapa cognitivo individual do ENT008**

Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT009 explorou a adoção do conceito de DfX como estratégia para a facilitação dos processos de reciclagem industrial e da extensão da vida útil dos EEE que contribuem para a redução da geração de resíduos e o aumento da reciclagem deste tipo de equipamento. Na prática, o conceito de DfX é traduzido por meio do desenvolvimento de equipamentos modulares e adaptados para a reutilização, com a redução de insertos metálicos, que utilizem matéria-prima reciclada, que reduzam a mistura de materiais e que identifiquem os materiais utilizados nas partes e componentes.

Ademais, a necessidade de estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos, de ações de educação ambiental e de incentivos para descarte pelo consumidor foram reforçados pelo entrevistado como estratégias para o aumento da reciclagem. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



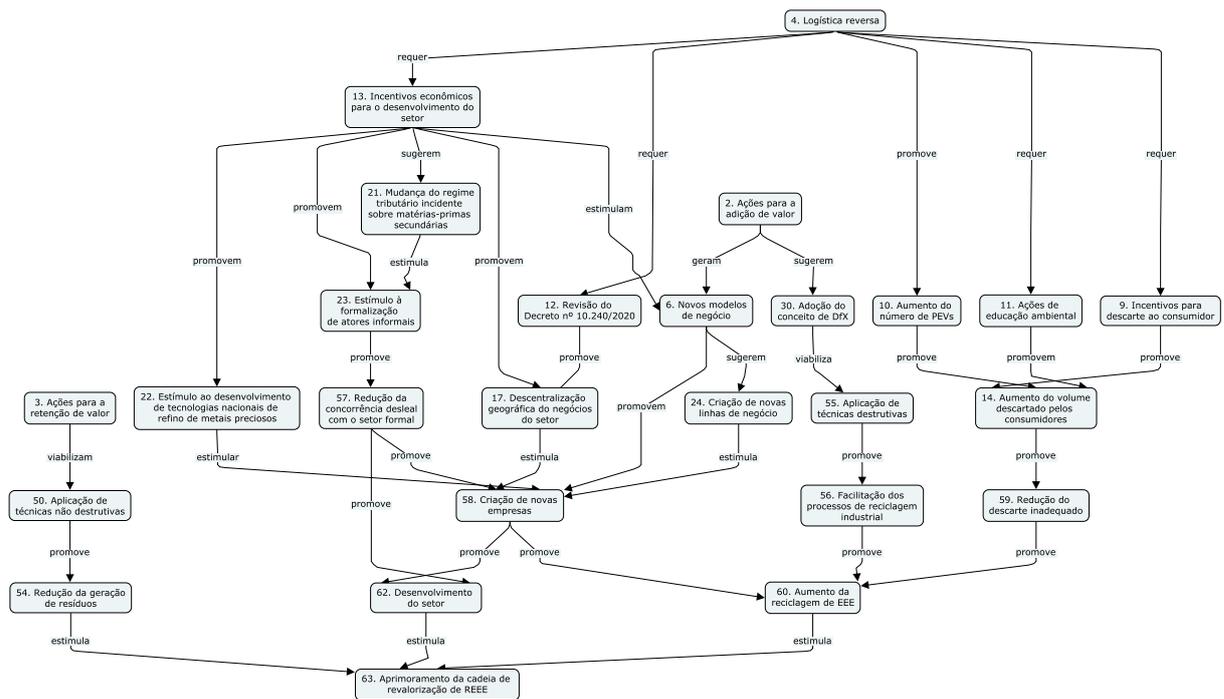
**Figura 29 – Mapa cognitivo individual do ENT009**

Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

O ENT010 dissertou sobre o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE brasileira sob a ótica das ações para retenção de valor, que promovem a aplicação de técnicas não destrutivas para o reaproveitamento, a reutilização e o reuso; e das ações para a adição de valor, que sugerem a descaracterização e a remanufatura por meio da aplicação de técnicas destrutivas.

Na cadeia de revalorização, a aplicação de técnicas destrutivas em processos de reciclagem industrial requer a coleta e separação dos equipamentos, viabilizada por meio da logística reversa. O entrevistado ponderou que, enquanto a logística reversa viabiliza o retorno, a economia circular estimula à melhoria dos produtos. Neste sentido, essas estratégias devem ser pensadas de forma integrada.

Neste sentido, eficácia da logística reversa requer subsídios econômicos para desenvolvimento do setor, que perpassam pela mudança do regime tributário, o estímulo à formalização e o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos. Ademais, considerando o arcabouço legal brasileiro, as estratégias de logística reversa devem favorecer a descentralização de negócios do setor, o aumento do número de PEVs, as ações de educação ambiental e a promoção de incentivos de descarte ao consumidor. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



**Figura 30 – Mapa cognitivo individual do ENT010**

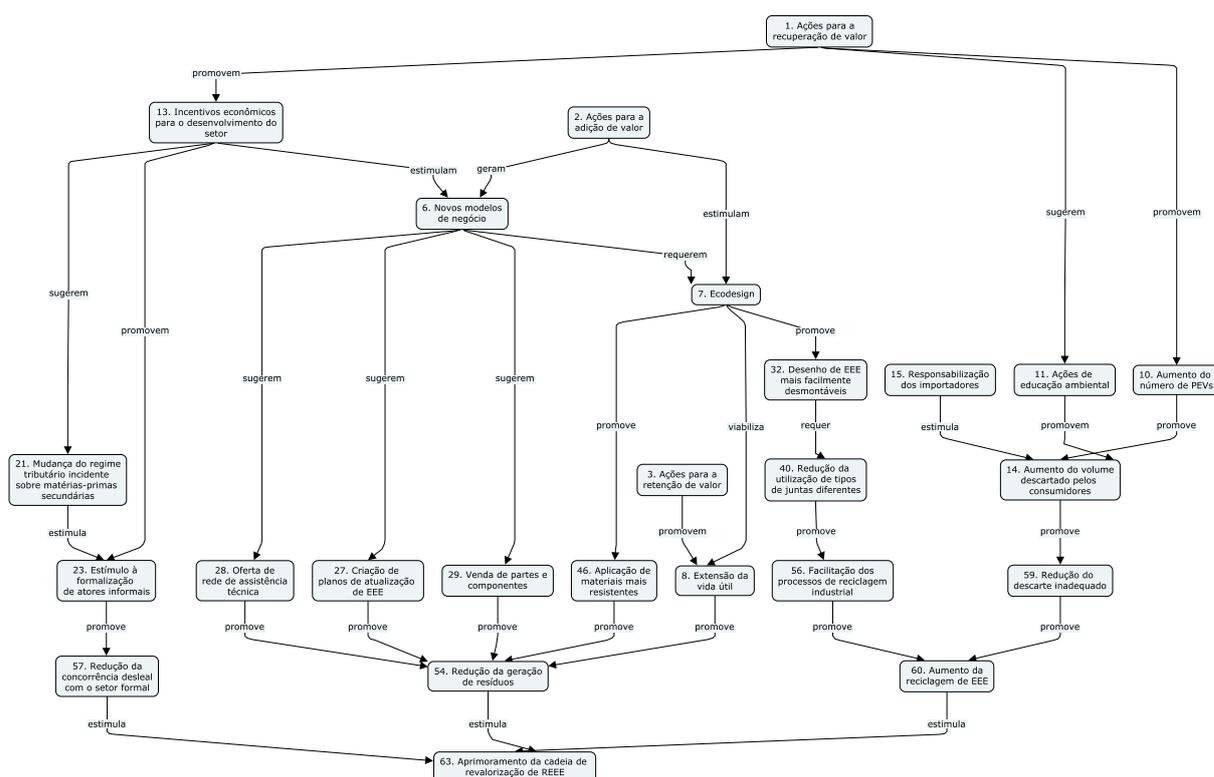
Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

Para o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE brasileira, o ENT011 destacou ações de adição, retenção e recuperação de valor. Do ponto de vista da adição de valor, o entrevistado pontuou o *ecodesign* e a criação de novos modelos de negócio. Na prática, essas estratégias se traduzem pelo desenvolvimento de equipamentos modulares, pela redução do uso



Somadas a elas, o entrevistado reforçou a necessidade das ações para a educação ambiental e o aumento do número de PEVs para a redução do descarte inadequado.

Foram citadas ainda, como ações para a adição de valor, a geração de novos modelos de negócio e o *ecodesign*, que deve promover o desenho de EEE mais facilmente desmontáveis, a redução da utilização de tipos diferentes de juntas e a aplicação de materiais mais resistentes. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo individual elaborado a partir dos construtos sinalizados pelo entrevistado.



**Figura 32 – Mapa cognitivo individual do ENT012**  
 Fonte: Autoria própria (2023) com *software* CMAP Tools®.

### 4.3.2. Mapa cognitivo agregado

A partir dos mapas cognitivos individuais, elaborado com base nas entrevistas realizadas com os participantes da pesquisa, elaborou-se o mapa cognitivo agregado. Este mapa possibilitou a condução de uma análise qualitativa com vistas à obtenção de maior esclarecimento das perspectivas dos *stakeholders*, ilustradas pelos construtos e as relações de causa e consequência entre eles. A figura a seguir ilustra o mapa cognitivo agregado elaborado a partir da consolidação dos construtos sinalizados por todos os entrevistados.



No mapa agregado podem ser verificados três *clusters*, definidos como um agrupamento de construtos com o maior número de ligações entre eles e que compartilham uma ideia ou área de preocupação (Rieg & Araújo Filho, 2003). Os *clusters* identificados na figura, ilustrados na parte superior do mapa, mantêm relação com o marco teórico que conceitua a economia circular, são eles: i) ações para a recuperação de valor; ii) ações para a adição de valor; e, iii) ações para a retenção de valor. Na parte inferior, estão ilustrados os construtos do tipo *head* (cabeça), que identificam os objetivos finais ou os problemas que devem ser superados na visão dos *stakeholders*. O quadro a seguir relaciona os construtos do tipo *head* ilustrados no mapa agregado.

<b>Conteúdo do construto</b>
14. Aumento do volume descartado pelos consumidores
54. Redução da geração de resíduos
56. Facilitação dos processos de reciclagem industrial
59. Redução do descarte inadequado
60. Aumento da reciclagem de EEE
62. Desenvolvimento do setor
63. Aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE

**Quadro 16 – Construtos do tipo *head* do mapa agregado**

Fonte: Autoria própria (2023).

O primeiro *cluster* agrupa os construtos (ou opções estratégicas) afins à recuperação de valor dos recursos disponíveis nos EEE. Vale destacar que as opções estratégicas identificadas nesta dissertação se referem a estratégias que podem ser adotadas pelos tomadores de decisão para a consecução dos construtos-cabeça.

Os construtos que integram este *cluster* foram citados por diferentes entrevistados embora não tenham relação direta com as fases de *design* e fabricação dos equipamentos, na condição de requisitos ou fatores contextuais indispensáveis ao aprimoramento da cadeia de revalorização de EEE, viabilizando os processos de logística reversa e de mineração urbana. O quadro a seguir relaciona as opções estratégicas integrantes do primeiro *cluster*.

<b>Conteúdo do construto</b>
9. Incentivos de descarte ao consumidor
10. Aumento do número de PEVs
11. Ações de educação ambiental
15. Responsabilização dos importadores
16. Ampliação do alcance geográfico das metas de coleta
17. Descentralização geográfica dos negócios do setor
18. Atração de investimentos para implantação indústria refino de metais preciosos
19. Taxação da exportação de REEE
20. Criação de CNAE para a atividade de remanufatura reversa
21. Mudança do regime tributário incidente sobre matérias-primas secundárias
22. Estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos

**Quadro 17 – Opções estratégicas integrantes do primeiro *cluster* – recuperação de valor**

Fonte: Autoria própria (2023).

O segundo *cluster* agrupa as opções estratégicas afins à adição de valor aos recursos disponíveis nos EEE. Os construtos que integram este *cluster* versam sobre o desenho de soluções que atendam às necessidades humanas de forma sustentável, influenciando os processos de *design* e fabricação de bens e serviços a partir de novos modelos de negócios e do *ecodesign*. O quadro a seguir relaciona as opções estratégicas integrantes do segundo *cluster*.

<b>Conteúdo do construto</b>
24. Criação de novas linhas de negócio
25. Adoção de modelos de negócio servitizados
26. Incentivo a modelos de economia colaborativa
27. Criação de planos de atualização de EEE
28. Oferta de rede de assistência técnica
29. Venda de partes e componentes
30. Adoção do conceito de DfX
35. Utilização de matéria-prima rastreável

<b>Conteúdo do construto</b>
36. Identificação dos materiais utilizados nas partes e componentes
37. Utilização de matéria-prima reciclada
38. Redução da mistura de materiais
39. Redução da aplicação de substâncias perigosas
40. Redução da utilização de tipos de juntas diferentes
41. Redução de insertos metálicos
42. Redução do uso de cola na junta das partes e componentes
43. Desenvolvimento de EEE modulares
44. Eliminação das estratégias de obsolescência programada
45. Cocriação de EEE entre atores da cadeia de suprimentos
46. Aplicação de materiais mais resistentes
47. Avaliação do ciclo de vida de EEE
48. Desenvolvimento de EEE recicláveis
49. Foco na função dos EEE
55. Aplicação de técnicas destrutivas

**Quadro 18 – Opções estratégicas integrantes do segundo *cluster* – adição de valor**

Fonte: Autoria própria (2023).

O terceiro e último *cluster* agrupa as opções estratégicas afins à retenção de valor aos recursos disponíveis nos EEE. Os construtos que integram este *cluster* referem-se a estratégias para o prolongamento da vida útil dos equipamentos, podendo ou não passar por soluções que influenciam diretamente seus processos de *design* e fabricação. O quadro a seguir relaciona as opções estratégicas integrantes do terceiro *cluster*.

<b>Conteúdo do construto</b>
50. Aplicação de técnicas não destrutivas
51. Viabilização do autorreparo
52. Criação de programas de garantia estendida

<b>Conteúdo do construto</b>
53. Criação de mecanismo de redução das metas de coleta de resíduos com base na longevidade e reciclabilidade dos EEE

**Quadro 19 – Opções estratégicas integrantes do terceiro *cluster* – retenção de valor**

Fonte: Autoria própria (2023).

Por fim, vale ressaltar que a análise dos construtos do tipo *tail* faz-se desnecessária por configurarem sequencias lógicas ou elementos não estratégicos para a consecução dos objetivos da presente pesquisa.

#### **4.4. Contribuição das alternativas levantadas aos gargalos mapeados da cadeia de revalorização de REEE brasileira**

A aplicação da abordagem SODA possibilitou a identificação de opções estratégicas para o aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE brasileira. A partir disso, buscou-se compreender, junto aos entrevistados, a contribuição dessas alternativas para o tratamento dos gargalos mapeados e apresentados anteriormente. Para tanto, explorou-se inicialmente sua compreensão sobre os mecanismos institucionais do cenário atual, a viabilidade da implementação das práticas e os benefícios advindos delas.

Quando questionados sobre o conhecimento acerca do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos (“*O(a) Sr.(a) tem conhecimento sobre o acordo setorial para produtos eletroeletrônicos?*”), somente 2 dos 10 entrevistados atestaram não conhecer o acordo o suficiente para emitir considerações a respeito.

Para aqueles que responderam à questão afirmativamente, questionou-se sobre a contribuição da formatação atual do acordo para a redução da geração de resíduos (“*Como a formatação atual do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos ajuda a resolver a problemática da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?*”). A maior parte dos entrevistados declarou que o acordo, regulamentado pelo Decreto nº 10.240/2020, não possui dispositivos afins a redução da geração de resíduos, uma vez que este não é o seu objeto.

O acordo setorial foca na logística reversa, ou seja, em viabilizar o retorno e a destinação ambientalmente adequada. O foco não regulação de produto, ele não interfere na produção ou no *ecodesign*. O decreto trata do descarte, então não tem como interferir na produção, porque não é o objeto dele (ENT010).

A política nacional fala que o ideal seria a gente trabalhar a minimização da geração e depois opções de recuperação até o nível de reciclagem. O acordo setorial não aborda em outros níveis, somente a partir do momento que esse resíduo foi gerado (ENT007).

Inclusive, essa formatação foi criticada por alguns entrevistados uma vez que, na medida em que as metas estabelecidas se referem a um percentual de coleta dos EEE inseridos no mercado, estimula-se a geração de resíduos ao invés de reduzi-la, conforme comentado pelo ENT009

O acordo ajuda a endereçar o resíduo gerado, mas ele não ajuda a reduzir a geração. Ele fala assim “olha, estabeleça uma infraestrutura com pontos de coleta em nível nacional para que as empresas e as pessoas possam entregar o produto do pós uso” [sic]. Ele estabelece metas para que sejam coletados até 17% daquilo que foi colocado no mercado. Isso, na verdade, até incentiva a gerar porque quanto mais material eu pego, mas eu atendo a meta. Então ele não atua para a redução de geração, mas para redução de desvio, para evitar que esse material vá para outros locais.

Na perspectiva do ENT011 o não endereçamento de soluções para a redução da geração de resíduos não configura necessariamente um problema, mas uma lacuna da legislação atual, apontando para a necessidade de regramento que aborde esta questão especificamente, tal como o Decreto nº 10.240/202 aborda a logística reversa.

Não e, assim, confesso que acho que, embora isso seja uma lacuna, não é um problema. Eu quero dizer que não dá para resolver tudo de uma vez. É uma questão de priorização [...]. Se eu esperar ter um acordo que resolve tudo, ele vai ficar 20 anos discutindo.

A redução dos resíduos resulta da aplicação de diferentes estratégias de economia circular, conforme observado no mapa cognitivo agregado. O estudo de Reike et al. (2018) sugere que o conceito de economia circular pode ser sintetizado em “10 R’s”. Então buscou-se entender junto ao entrevistados com quais dos “R’s” o acordo setorial para equipamentos eletroeletrônicos contribui para a implementação dos princípios de economia circular.

Os “R’s” recusar (R0), revender/reusar (R2), reparar (R3), reformar (R4), remanufaturar (R5) e reaproveitar (R6) não foram apontados por nenhum entrevistado. O “R” recuperar energia (R8) foi apontado por 3 participantes da pesquisa. Por fim, os “R’s” reciclar materiais (R7) e reminerar (R9) foram apontados por todos os entrevistados.

Quando questionados acerca da efetividade da formatação atual do acordo setorial, as opiniões dos entrevistados convergiram para uma resposta afirmativa, com ressalvas. Ou seja, há um entendimento compartilhado pela maioria de que o acordo tem sido efetivo naquilo que se propõe, mas há espaços para melhorias. O entrevistado ENT011 destaca dois dispositivos que carecem de melhor aprofundamento.

Eu acho que é boa a efetividade, mas eu acho que 2 construções faltaram. A primeira foi ter sido mais claro na redação do texto da meta para que não houvesse essa divergência de opiniões que está dando um bafafá jurídico [sic] e, enfim, só desvia do assunto. E outra é a questão dos importadores.

Sobre as metas, o entrevistado ENT007 reforça que o acordo setorial, regulamentado pelo Decreto nº 10.240/2020, apresenta oportunidades de melhorias referentes à abrangência geográfica.

Eu acho que é efetivo, mas eu discordo com a forma como as metas foram propostas, acho que foram pouco ambiciosas. Elas não atendem algumas questões importantes de abrangência geográfica. Porque quando você fala de uma meta, há um percentual para bater. Esse percentual eu atendo no eixo do sudeste, onde estão muitas das empresas e eu atendo facilmente a minha meta. E o que que eu faço com os resíduos gerados na região norte, nordeste ou no interior do centro-oeste? E aí é que é o problema.

Os entrevistados ENT005 e ENT009 comentaram que, embora efetivo, o acordo requer outras ações complementares para alcançar objetivos maiores, especialmente relacionados à circularidade.

Sim, ele contribui com a melhor gestão desses resíduos com certeza, diante do papel que ele tem que desempenhar, mas tem outras ações que também precisam ser tomadas (ENT005).

Eu acho que tem sido efetivo naquilo que foi proposto na questão de abrangência e volumetria. A gente tem conseguido atingir aquilo que a gente se propôs a fazer. Mas eu não acho que ele tem sido efeito tão efetivo com relação à conscientização das pessoas e a migrarmos para modelos mais circulares e que mitiguem o problema, que não fiquem enxugando gelo [*sic*], mas que realmente possam tratar a causa raiz do problema (ENT009).

Apenas os entrevistados ENT001 e ENT003 opinaram contrariamente à efetividade do acordo.

A gente tinha uma expectativa maior, né? [*sic*]. Está sendo um aprendizado esses primeiros anos. A performance está muito aquém do que todo mundo imaginava, mas está ficando claro que falta muita educação, conscientização. Falta também uma cobrança muito grande dos importadores, porque tem vários canais de entrada de eletroeletrônicos por meio de importação que não estão sendo cobrados da mesma forma como os fabricantes estão. Isso gera falta de isonomia, de igualdade nas cobranças. Então tem algumas coisas que vão precisar acontecer: primeiro, criar essa conscientização da população sobre a importância do descarte; segundo, criar ações para engajar, porque não é necessário ter só a conscientização, tem que transformar isso em prática; e terceiro, realizar a fiscalização e eventual punição, porque não dá para poder ficar só culpando ou apontando o dedo para as empresas que não estão fazendo (ENT001).

Infelizmente baixo. Hoje nós temos na Green Eletron mais de 100 empresas associadas, sendo aí cerca de 80 empresas que fabricam ou importam equipamentos eletroeletrônicos. Todas essas empresas estão pagando para cumprir uma obrigação legal, criar pontos, coletar os produtos e reciclar e reaproveitar os materiais. A informação que a gente tem é que no Brasil existem mais de 3400 empresas que fabricam ou importam eletroeletrônicos. Bom, aqui nós temos 80. Tem outra gestora, que cuida mais de produtos grandes, que tem cerca de 30 ou 40 empresas. Então juntando as 2 gestoras, são 120 do universo de 3400. As demais não estão fazendo nada, pelo menos até onde a gente sabe. E só existe as 2 gestoras e essas empresas que estão nela, então cadê essas outras empresas? Cadê uma fiscalização efetiva por parte do poder público que criou uma lei para que se faça a logística? [...] Não vai funcionar se não tiver uma fiscalização e uma penalização (ENT003).

Considerando o caráter reativo do acordo setorial aos resíduos gerados, questionou-se aos participantes da pesquisa “*Como o acordo setorial poderia formatado contribuir para a não geração dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?*”. As respostas convergiram para a promoção de incentivos à reciclagem por meio de metas de inserção de material reciclado nos produtos (alternativamente à lógica de metas com base na coleta de REEE, cuja interpretação pode estimular a geração de resíduos). Além disso, uma vez que a redução da geração de resíduos está condicionada à extensão da vida útil dos EEE, reforçou-se a necessidade de promoção de subsídios a fabricantes conforme a aplicação de estratégias que contribuam para o prolongamento da vida útil dos equipamentos.

Por fim, tão importante quanto levantar as opções estratégicas, é analisar a viabilidade de sua implementação no contexto brasileiro, uma vez que os EEE disponíveis no mercado nacional são ofertados por *players* predominantemente multinacionais, cujo *design* e, em alguns casos, a fabricação são realizados no exterior. Assim, questionou-se aos entrevistados “*Considerando o ambiente político-legal brasileiro e as características da indústria nacional, o(a) Sr.(a) acha que a implementação dessas práticas é viável? Justifique*”.

A maioria dos entrevistados respondeu afirmativamente, argumentando que embora o Estado tenha um papel importante na regulação e na oferta de incentivos, a implementação das opções estratégicas levantadas é viável e dependem da iniciativa das organizações do setor privado.

Eu acho que é viável e não vai depender do governo. O governo pode ajudar na medida em que traz essas obrigações do direito do consumidor, por exemplo. Isso ajudaria bastante. Mas o que eu quero dizer é que eu acho que o movimento, como em vários outros assuntos, vai vir da iniciativa privada. A minha grande expectativa de mudança vem de empresas multinacionais que vão ser obrigadas a fazer lá fora, e o projeto vem pronto para cá, o cara [*sic*] importa já um produto “sustentável”. Aí vai ficar até feio para ele vender um produto diferente no Brasil. Vai virar uma questão reputacional. Então eu acredito mais nisso do que numa pressão realmente governamental do ponto de vista de projeto de logística reversa. O que não quer dizer que a gente não possa fazer os nossos esforços, principalmente um esforço de educação ambiental (ENT011).

Muitas das que eu citei dependem, na verdade, muito mais da empresa do que do ambiente político, né? Muitas decisões ali são em relação ao uso de matéria-prima, a escolha das substâncias ou forma de projetar o equipamento. Então isso depende muito mais da empresa do que o próprio ambiente político-econômico, mas obviamente que se houvesse incentivos realmente andaria muito mais rápido, por exemplo, a lei poderia ter metas de uso de material reciclado na fabricação de produtos. Isso aí é um aspecto político que ajudaria (ENT001).

O entrevistado ENT009 advogou a favor da necessidade de torná-las viável pela emergência da questão ambiental.

Com certeza. Eu acho que é viável, porque a gente tem que começar a pensar a médio e longo prazo. A gente tem que entender que os recursos são finitos e se a gente não tomar medidas agora, vai chegar um momento que vai ficar insustentável. A gente vai ter falta de material, falta de recursos e a gente não vai conseguir manter o desenvolvimento que gostaria para a quantidade de pessoas que virão. Então no curto prazo pode até não ser viável economicamente, mas a médio e longo prazo, você vai colher os frutos. Não é à toa que está todo mundo se comprometendo para ser *net zero* e para descarbonizar, porque a gente já começou a perceber o impacto associado às práticas imprudentes relacionadas ao meio ambiente. Haverá um colapso ambiental em breve se a gente não acelerar (ENT009).

O entrevistado ENT003 condicionou a viabilidade da implementação dessas práticas aos incentivos governamentais, destacando a diferença de custos e obrigações entre empresas que as implementam e as que permanecem inertes.

Se não houver um incentivo, um benefício para que se adote essas práticas não vai acontecer porque hoje uma empresa que adota todas essas práticas está gastando exatamente igual a outra. Se a empresa que pratica todos esses conceitos tivesse algum tipo de benefício, uma redução de tributos, um desconto de alguma coisa, com certeza ela iria fazer muito mais e isso iria incentivar as outras empresas que não fazem nada. E hoje nós não temos uma política pública que incentiva as empresas.

O entrevistado ENT002 argumentou contrariamente à viabilidade da implementação das práticas, especialmente daquelas relacionadas ao *design*. Contudo, destacou-se o papel de demandante do Brasil no mercado internacional, dada a dimensão do seu público comprador, na adoção de práticas de *ecodesign* e de manufatura circular.

O *design* é pensando lá fora, na matriz, então já não é mais a indústria brasileira. Agora, se um país comprador como o nosso tem uma política ambiental para resíduo forte, é possível ter um peso, mas a gente não usa. Quem compra ditas regras (ENT002).

## 5. SÍNTESE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *design* dos EEE foi apontado como um dos principais gargalos à cadeia de revalorização do REEE no Brasil, sobretudo pela falta de peças universais, pela falta de identificação e classificação de materiais, pelo uso de materiais diversos, pelo uso de mistura de materiais, e pelo uso de cola e juntas que dificultam a desmontagem. Essas características vão ao encontro do argumento de Leal *et al.* (2020), os quais sugerem que os produtos não suficientemente desenhados para serem integrados às suas cadeias de revalorização.

As estratégias para o aprimoramento da cadeia de revalorização dos REEE citadas pelos entrevistados perpassam pela implementação de ações que viabilizem à adição, à recuperação e à retenção de valor dos EEE. As ações de recuperação de valor representam requisitos ou fatores contextuais indispensáveis ao aprimoramento da cadeia de revalorização de EEE e que viabilizando processos de logística reversa e de mineração urbana. As ações de adição de valor representam soluções de atendimento das necessidades humanas de forma sustentável influenciadas por novos modelos de negócios e pela incorporação de *ecodesign*. As ações de retenção de valor, por fim, promovem a extensão da vida útil dos equipamentos, requerendo soluções que podem influenciar diretamente seus processos de *design* e fabricação.

Esse foco na maximização do valor reflete uma evolução do conceito de economia circular 3.0 proposta por Reike *et al.* (2018), que assume o potencial da economia circular para frear o crescimento do uso de recursos sob o argumento de ganhos econômicos. Neste novo paradigma, observa-se a busca pela otimização dos recursos naturais por meio de processos de manufatura e modelos de negócio integrados às novas tecnologias; de melhorias no *design* dos produtos, na atração de consumidores-alvo, no monitoramento e rastreamento das atividades dos produtos; de fornecimento de suporte técnico; de oferta de manutenção preditiva e preventiva; na otimização do uso dos produtos; no *upgrading* de produtos; e, no aprimoramento de atividades de renovação no final do ciclo de vida (Bressanelli *et al.*, 2018).

Assim, sugere-se compreender economia circular como um **sistema de produção e consumo de bens e serviços que visa otimizar o valor dos recursos por meio do uso eficiente para promover um desenvolvimento sustentável**. Conforme posto pelos participantes da pesquisa, é um sistema pois envolve vários atores interdependentes. Esse sistema relaciona-se à produção e ao consumo uma vez que influencia processos de tomada de decisão tanto do ponto de vista de quem oferta quanto de quem demanda. Ademais, refere-se a bens e serviços visto que estimula a reflexão sobre a natureza das necessidades humanas para a melhor

customização das soluções que as sanarão. Seu objetivo é a otimização do valor dos recursos por meio do uso eficiente, que contribui para o desenvolvimento de forma sustentável econômica, social e ambientalmente.

Sob esse entendimento de economia circular, convergem as estratégias de *design for EoL* e *design* circular propostas por Berwald *et al.* (2021), Bovea & Pérez-Belis (2018), Leal *et al.* (2020) e Shahbazi *et al.* (2021), dentre as quais foram citadas pelos entrevistados desta pesquisa i) a viabilização do autorreparo; ii) a criação de novas linhas de negócio; iii) a adoção de modelos de negócio servitizados; iv) a adoção do conceito de DfX; v) a utilização de matéria-prima rastreável; vi) a identificação dos materiais utilizados nas partes e componentes; viii) a utilização de matéria-prima reciclada; ix) a redução da mistura de materiais; x) a redução da aplicação de substâncias perigosas; xi) a redução da utilização de tipos de juntas diferentes; xii) a redução de insertos metálicos; xiii) a redução do uso de cola na junta das partes e componentes; xiv) o desenvolvimento de EEE modulares; xv) a eliminação das estratégias de obsolescência programada; xvi) a cocriação de EEE entre atores da cadeia de suprimentos; xvii) a aplicação de materiais mais resistentes; xviii) a avaliação do ciclo de vida de EEE; xix) o desenvolvimento de EEE recicláveis; e, xx) o foco na função dos EEE.

Dentre as estratégias de manufatura circular, somente a mineração urbana (Ottoni *et al.*, 2020) foi citada pelos participantes da pesquisa. Contudo, as fases do processo de manufatura em cadeias de suprimentos de *loop* fechado indicadas por Lieder & Rashid (2016) puderam ser identificadas nas falas dos entrevistados como etapas dos fluxos produtivos circulares. Ademais, no escopo das ações de adição, retenção e recuperação de valor, foram citadas a melhoria da eficiência de recursos, a cocriação com parceiros da cadeia de suprimentos, o desenvolvimento de tecnologias de refino, o investimento em reutilização, o redesenho de produtos e a substituição de materiais e insumos, em alinhamento a Gaustad *et al.* (2018).

As considerações dos entrevistados acerca das consequências da implementação dessas estratégias (construtos do tipo *head*) foram além daquelas apontadas por Bressanelli *et al.* (2021) e Cucchiella *et al.* (2015), que advogam a favor da oportunidade econômica para a recuperação de recursos materiais caros e escassos, da redução da emissão de gases do efeito estufa (especialmente relacionados à cadeia de suprimentos) e do impacto ambiental da produção e do consumo desse tipo de equipamento. A implementação das estratégias tem o potencial de aumentar o volume descartado pelos consumidores, reduzir a geração de resíduos, facilitar os processos de reciclagem industrial, reduzir o descarte inadequado, aumentar a

reciclagem de EEE, desenvolvimento o setor e, em última instância, aprimorar a cadeia de revalorização de REEE.

Sua viabilidade, entretanto, perpassa pela revisão dos marcos regulatórios vigentes a fim de que contribuam para a superação dos gargalos apontados. Embora tenha sido levantado, durante as entrevistas, a pertinência do modelo de responsabilidade compartilhada adotado no Brasil frente ao modelo EPR adotado em países europeus, Rebehy *et al.* (2019) argumentam que os princípios preconizados pela PNRS brasileira são consistentes e alinhados àqueles observados nos países desenvolvidos.

Assim, a necessidade de revisão dos marcos regulatórios justifica-se pela convergência dos resultados da pesquisa com os apontamentos de Xavier *et al.* (2021) acerca da não especificação das metas quantitativas e prazos para a implementação dos princípios da PNRS, de Ottoni *et al.* (2020) acerca da ausência de SLR para REEE adequados na maior parte das cidades do país, e de Rebehy *et al.* (2019) acerca dos desafios enfrentados pela indústria, nomeadamente i) a concentração de empresas de reciclagem nas regiões sul e sudeste do Brasil, que aumentam os custos de transporte dos resíduos provenientes de outras regiões do país; ii) os altos custos operacionais relacionados à logística, à recuperação e à venda dos materiais; iii) o baixo valor agregado dos itens recuperados comparado aos altos custos da operação; iv) a grande dispersão geográfica dos resíduos; e, v) o incipiente apoio governamental para a coleta seletiva.

O Estado foi acusado como um ator viabilizador de toda a cadeia de revalorização, que é integrada por catadores (organizados em cooperativas ou não), consumidores, distribuidores, entidade gestora, fabricantes, importadores, operadores de manufatura reversa, recicladoras e varejistas. Do ponto de vista institucional, mecanismos de isomorfismo coercitivo podem ser efetivos para a estruturação do campo organizacional na medida em que sejam propostos instrumentos de regulação e fiscalização legítimos e eficazes (Meyer & Rowan, 1977). A realidade ilustrada pelos entrevistados traduz um cenário no qual a inexistência de mitos racionalizados dificulta um processo efetivo de institucionalização de princípios. As empresas que empregam as estratégias citadas o fazem por metas individuais proativas e por uma orientação estratégica particular, não influenciando outros atores do campo por meio de processos de isomorfismo mimético.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos.

Os objetivos foram alcançados por meio de pesquisa teórica, que realizou uma revisão integrativa e possibilitou a identificação de princípios da economia circular referentes às fases de *design* e fabricação de equipamentos na literatura (OE 1), e uma pesquisa empírica, que realizou entrevistas semiestruturadas com *stakeholders* para mapear os gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira (OE 2) e levantar opções estratégicas para a institucionalização dos princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos com base na abordagem SODA (OE 3). Ao final, analisou-se a contribuição das alternativas levantadas aos gargalos mapeados da cadeia de revalorização de REEE brasileira (OE 4).

A pesquisa teórica, referente ao OE 1, demonstrou que o número de publicações aumentou continuamente nos últimos anos e que as discussões possuem um caráter multidisciplinar. Os artigos analisados dividem-se em estudos de natureza gerencial, isto é, cujo objeto volta-se à análise de práticas e modelos relacionados à economia circular nos níveis micro, meso e macro, e técnica, nos quais os procedimentos são analisados e desenvolvidos para a promoção e o aprimoramento das estratégias da economia circular sob a ótica das ciências físicas e químicas, e de materiais. Adicionalmente, novas tecnologias e modelos de negócios são analisados e desenvolvidos com vistas a catalisar estratégias para a economia circular por meio do aumento da eficiência de recursos e da extensão da vida útil dos produtos. Poucos estudos abordam a problemática sob a perspectiva do consumidor, corroborando e sugerindo a manutenção da lacuna identificada por Bressanelli et al. (2020). As evidências na literatura indicam que as intervenções comportamentais sem o conhecimento dos aspectos socioeconômicos da economia circular pode produzir resultados insuficientes. Dentre os principais critérios de decisão dos consumidores em relação ao reparo e à disposição de equipamentos no contexto da economia circular estão os custos para reparo, o esforço físico para o reparo, as informações sobre a disposição e a distância de transporte para disposição final.

A pesquisa empírica, referente aos OE 2, 3 e 4, demonstrou que o *design* dos EEE é um dos principais gargalos à cadeia de revalorização do REEE no Brasil, além das dificuldades logísticas em função das dimensões geográficas do país, da regulamentação do setor, do

comportamento do consumidor e de características do mercado. O aprimoramento da cadeia, portanto, perpassa pela implementação de ações que viabilizem à adição, à recuperação e à retenção de valor dos EEE. As ações de recuperação de valor levantadas relacionam-se indiretamente com as fases de *design* e fabricação dos equipamentos, uma vez que representam requisitos ou fatores contextuais indispensáveis ao aprimoramento da cadeia de revalorização de EEE, viabilizando processos de logística reversa e de mineração urbana. As ações de adição de valor versam sobre o desenho de soluções que atendam às necessidades humanas de forma sustentável, influenciando os processos de design e fabricação de bens e serviços a partir de novos modelos de negócios e do *ecodesign*. As ações de retenção de valor, por fim, referem-se a estratégias para o prolongamento da vida útil dos equipamentos, podendo ou não passar por soluções que influenciam diretamente seus processos de *design* e fabricação. A implementação dessas ações é viável mediante a revisão dos marcos regulatórios vigentes a fim de que contribuam para a superação dos gargalos apontados.

Nesta perspectiva, a pesquisa contribui em termos práticos ao identificar quem são os atores da cadeia de revalorização de REEE brasileira e seus respectivos papéis, os gargalos existentes nessa cadeia e apontar estratégias com base nos princípios da economia circular referentes à adição, recuperação e retenção de valor, a serem adotadas nos processos de *design* e fabricação de equipamentos. No ponto de vista da formulação de políticas públicas, esta dissertação oferece um conjunto de propostas aos tomadores de decisão, verificadas por meio de processo sistemático, para a avaliação e inclusão no arcabouço normativo em futuras revisões com vistas ao aprimoramento da cadeia de reciclagem de REEE, tais como a criação de metas de coleta dos fabricantes vinculadas à reciclabilidade dos equipamentos que injetam no mercado nacional, a criação de classificação de atividade econômica específica para a reciclagem, o estabelecimento das responsabilidades dos importadores e o fortalecimento dos mecanismos de fiscalização do cumprimento das disposições previstas no acordo setorial e nos normativos que desdobram-se dele.

Além disso, a pesquisa contribui em termos científicos ao explorar lacunas apontadas por Guarnieri *et al.* (2016), Guarnieri e Kremer (2019), Bressanelli *et al.* (2020) e EMF (2017), ampliando a compreensão sobre as implicações econômicas, sociais e ambientais da economia circular na cadeia de revalorização de REEE.

Por fim, em termos metodológicos, a pesquisa contribui ao testar a aplicação da abordagem SODA como método de estruturação de problema para propor o endereçamento de

soluções à problemática da revalorização de REEE no Brasil a partir da aplicação do conceito de economia circular.

No âmbito da pesquisa teórica, a análise de conteúdo realizada limitou-se ao conjunto dos 36 artigos mais relevantes segundo o Índice *Ordinatio*, que considerou o ano das publicações, o número de citações e o fator de impacto dos respectivos periódicos. Embora o protocolo tenha sido seguido com rigor metodológico, a análise de uma amostra maior de artigos pode contribuir com uma visão mais ampla das implicações existentes. Outros protocolos para revisão sistemática e integrativa e outros critérios de inclusão e exclusão de artigos, podem conduzir a outros resultados. Sugere-se que estudos futuros possam comparar os resultados dessa revisão com os resultados da aplicação de outros protocolos. Adicionalmente, o objeto de interesse desta revisão restringiu-se às implicações da economia circular no *design* e na fabricação dos EEE. Outras etapas do processo produtivo, igualmente relevantes, podem ser analisadas para uma visão integrada dos efeitos da economia circular sobre a manufatura deste segmento de produtos.

No âmbito da pesquisa empírica, os objetivos específicos versaram sobre os gargalos existentes, as estratégias para a institucionalização de princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação e a contribuição destes para a superação das lacunas referentes à cadeia de revalorização de resíduos provenientes de EEE de forma indistinta. Porém, tal como verificou-se na pesquisa, diferentes tipos de equipamentos e materiais sugerem diferentes estratégias. Por isso, estudos futuros poderiam explorar as implicações dos princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos por linhas, segundo a classificação mais recorrentemente utilizada.

É válido pontuar ainda que as experiências de aplicação da abordagem SODA relatadas na literatura e referenciadas nesta dissertação referem-se a aplicações feitas em organizações ou em conjuntos de organizações que de alguma forma estão sob uma estrutura hierárquica. Neste cenário, onde há um "patrocínio" *top-down*, gerar o comprometimento dos atores parece ser mais fácil porque há uma liderança comum. No caso desta pesquisa, cujos participantes representam organizações sem qualquer vínculo, assegurar a participação de todos nas etapas de aplicação do método representou um desafio, especialmente no que diz respeito à conciliação de agendas para a realização de *workshops*. Por esta razão, foram empregadas estratégias alternativas, como a validação do mapa agregado por e-mail contendo um vídeo explicativo do modelo. Estudos futuros de abordagem qualitativa podem explorar a problemática sob a ótica de outros PSM. Ou, alternativamente, utilizar o SODA dentro de uma mesma organização

(fabricante, importador, distribuidor ou varejista) para estruturar o problema em um cenário de menor heterogeneidade de atores. Complementarmente, estudos de abordagem qualitativa podem ser conduzidos com foco na análise da viabilidade econômica da implementação das estratégias nas fases de *design* e fabricação de EEE sob o ponto de vista das empresas, bem como da viabilidade de incentivos econômicos e subsídios governamentais para estimular o desenvolvimento do setor sob o ponto de vista do poder público.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABDI. (2013). *Logística Reversa de Equipamentos Eletrônicos*. [http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica reversa de residuos\\_.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica_reversa_de_residuos_.pdf)
- ABINEE. (2017). *A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade*. <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/fasci17.pdf>
- ABINEE. (2022). *Panorama Econômico e Desempenho Setorial 2022*. <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/panorama.pdf>
- ABRELPE. (2021). *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2021*. <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>
- Ackermann, F., Franco, L. A., Rouwette, E., & White, L. (2014). Special issue on problem structuring research and practice. *EURO Journal on Decision Processes*, 2(3–4), 165–172. <https://doi.org/10.1007/s40070-014-0037-6>
- Agrawal, S., & Singh, R. K. (2021). Outsourcing and reverse supply chain performance: a triple bottom line approach. *Benchmarking: An International Journal*, 28(4), 1146–1163. <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2020-0498>
- Anandh, G., PrasannaVenkatesan, S., Goh, M., & Mathiyazhagan, K. (2021). Reuse assessment of WEEE: Systematic review of emerging themes and research directions. *Journal of Environmental Management*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112335>
- Appolloni, A., D'Adamo, I., Gastaldi, M., Santibanez-Gonzalez, E. D. R. R., & Settembre-Blundo, D. (2021). Growing e-waste management risk awareness points towards new recycling scenarios: The view of the Big Four's youngest consultants. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101716>
- Bacovis, M. M. C. (2021). *Proposição de um conjunto de diretrizes para orientar a transição do modelo linear de produção para o modelo circular em empresas de manufatura no Brasil*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., & Den Hollander, M. (2014). Products that go round: Exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, 69, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.028>
- Baldé, K., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). The Global E-waste Monitor 2017. In *United Nations University*. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2014.05.148>

- Baldé, K., Wang, F., Kuehr, R., & Huisman, J. (2014). *The Global E-waste Monitor 2014*.
- Bardin, L. (2011). *Análise do Conteúdo* (1ª Ed.). Grupo Almedina.
- Berwald, A., Dimitrova, G., Feenstra, T., Onnekink, J., Peters, H., Vyncke, G., & Ragaert, K. (2021). Design for Circularity Guidelines for the EEE Sector. *Sustainability*, *13*(7). <https://doi.org/10.3390/su13073923>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, *21*(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Bonsu, N. O. (2020). Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy. *Journal of Cleaner Production*, *256*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120659>
- Bovea, M. D., & Pérez-Belis, V. (2018). Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. *Journal of Environmental Management*, *228*, 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.014>
- Bowen, G. A. (2008). Naturalistic inquiry and the saturation concept: A research note. *Qualitative Research*, *8*(1), 137–152. <https://doi.org/10.1177/1468794107085301>
- Boyer, R. H. W., Hunka, A. D., & Whalen, K. A. (2021). Consumer Demand for Circular Products: Identifying Customer Segments in the Circular Economy. *Sustainability*, *13*(22). <https://doi.org/10.3390/su132212348>
- Brasil. (2010). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)
- Brasil. (2019). Acordo setorial para implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. [https://www.mma.gov.br/images/Acordo Setorial/Acordo Setorial - Eletroeletrônicos.pdf](https://www.mma.gov.br/images/Acordo%20Setorial/Acordo%20Setorial%20-%20Eletroeletr%C3%B4nicos.pdf)
- Brasil. (2020). *Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico*. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm)

- Brasil. (2021). *Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. Estabelece incentivos à indústria da reciclagem; e cria o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecicle) e Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecicle)*. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/l14260.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14260.htm)
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(3). <https://doi.org/10.3390/su10030639>
- Bressanelli, G., Pigosso, D. C. A., Saccani, N., & Perona, M. (2021). Enablers, levers and benefits of Circular Economy in the Electrical and Electronic Equipment supply chain: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, *298*, 126819. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126819>
- Bressanelli, G., Saccani, N., Pigosso, D. C. A., & Perona, M. (2020). Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda. *Sustainable Production and Consumption*, *23*, 174–188. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.05.007>
- Brito, J. L. R. de, Ruiz, M. S., Kniess, C. T., & Santos, M. R. dos. (2022). Reverse remanufacturing of electrical and electronic equipment and the circular economy. *Revista de Gestão*. <https://doi.org/10.1108/REG-02-2020-0011>
- Caiado, N., Guarnieri, P., Xavier, L. H., & de Lorena Diniz Chaves, G. (2017). A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market. *Resources, Conservation and Recycling*, *118*, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.021>
- Cerqueira-Streit, J., Endo, G., Guarnieri, P., & Batista, L. (2021). Sustainable Supply Chain Management in the Route for a Circular Economy: An Integrative Literature Review. *Logistics*, *5*(4), 81. <https://doi.org/10.3390/logistics5040081>
- Chan, K. H., Anawati, J., Malik, M., & Azimi, G. (2021). Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *9*(12), 4398–4410. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06869>
- CNS. (2016). *Resolução nº 510, de 07 de abril de 2016. Dispõe sobre a pesquisa em Ciências Humanas e Sociais*. Ministério da Saúde. <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2016/Reso510.pdf>

- Corsi, A., Kovaleski, J. L., & Negri Pagani, R. (2021). Technology Transfer, Anthropotechnology and Sustainable Development: How Do the Themes Relate? *Journal of Technology Management & Innovation*, 16(4), 96–108. <https://doi.org/10.4067/s0718-27242021000400096>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: qualitative, quantitative and mixed methods approaches* (5<sup>a</sup> ed.). Sage Publications.
- Cronin, P., Ryan, F., & Coughlan, M. (2008). Undertaking a literatura review: a step-by-step approach. *British Journal of Nursing*, 17(1).
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Koh, S. C. L., & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 51, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.010>
- Daellenbach, H. G. (2001). Hard OR, soft OR, problem structuring methods, critical systems thinking: A primer. In *Proceedings of the ORSNZ Conference Twenty Naught One, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand*, 1–6.
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147–160.
- Eden, C. (1988). Cognitive mapping. *European Journal of Operational Research*, 36(1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90002-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90002-1)
- Eden, C., & Ackermann, F. (2001). SODA - The principles. In *Rational Analysis for a Problematic World Revisited* (2nd ed., pp. 21–41). John Wiley & Sons Inc.
- Eden, C., & Ackermann, F. (2004). Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 615–630. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00061-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00061-4)
- EMF. (2013). Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. In *Ellen MacArthur Foundation* (Vol. 1). <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o>
- EMF. (2017). *Uma economia circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial*. [https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil\\_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf)

- Farrell, C. C., Osman, A. I., Doherty, R., Saad, M., Zhang, X., Murphy, A., Harrison, J., Vennard, A. S. M., Kumaravel, V., Al-Muhtaseb, A. H., & Rooney, D. W. (2020). Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109911>
- Fazleena, B., Shuaib, M. A., Jawahir, I. S., & Lu, T. (2015). Sustainable Value Creation in Manufacturing at Product and Process Levels: Metrics-Based Evaluation. In *HandBook of Manufacturing Engineering and Technology* (pp. 3343–3375). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4>
- Fernandes, C. H. de A., Silva, L. C. e, Guarnieri, P., & Vieira, B. de O. (2021). Multicriteria Model Proposition to Support the Management of Systems of E-Waste Collection. *Logistics*, 5(3), 60. <https://doi.org/10.3390/logistics5030060>
- Flick, U. (2013). *Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes*. Ed. Penso.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Bonn/Geneva/Rotterdam.
- Friant, M. C., Vermeulen, W. J. V., & Salomone, R. (2021). Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.001>
- Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M., & Badami, K. (2018). Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gharibi, K., & Abdollahzadeh, S. (2021). A mixed-integer linear programming approach for circular economy-led closed-loop supply chains in green reverse logistics network design under uncertainty. *Journal of Enterprise Information Management*. <https://doi.org/10.1108/JEIM-11-2020-0472>

- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Gil, A. C. (2008). Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. In *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6ª Ed., Vol. 264). Editora Atlas.
- Greco, P. J., Perez Morales, J. C., Aburachid, L. M. C., & Silva, S. R. da. (2015). Evidência de validade do teste de conhecimento tático processual para orientação esportiva. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, *29*(2), 313–324. <https://doi.org/10.1590/1807-55092015000200313>
- Green Eletron. (2021). *Resíduos eletrônicos no Brasil - 2021*. <https://greeneletron.org.br/pesquisa>
- Greenwood, R., Oliver, C., Sahlin, K., & Suddaby, R. (2008). Introduction. In *The Sage handbook of organizational institutionalism* (pp. 1–34). Sage.
- Gu, Y. F., Wu, Y. F., Xu, M., Wang, H. D., & Zuo, T. Y. (2017). To realize better extended producer responsibility: Redesign of WEEE fund mode in China. *Journal of Cleaner Production*, *164*, 347–356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.168>
- Guarnieri, P. (2015). Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. *Revista de Administração Contemporânea*, *19*(1), 1–25. <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac20151109>
- Guarnieri, P., Cerqueira-Streit, J. A., & Batista, L. C. (2020). Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, *153*(October 2018), 104541. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104541>
- Guarnieri, P., e Silva, L. C., & Levino, N. A. (2016). Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, *133*, 1105–1117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.025>
- Guarnieri, P., & Kremer, J. (2019). Economia circular: análise das publicações internacionais na última década a fim de identificar uma agenda de pesquisa. *XLIII EnANPAD*, *2015*, 1–17.
- Guest, G., Bunce, A., & Johnson, L. (2006). How Many Interviews Are Enough? An

- Experiment with Data Saturation and Variability. *Field Methods*, 18(1), 59–82. <https://doi.org/10.1177/1525822X05279903>
- Guzzo, D., Rodrigues, V. P., Pigosso, D. C. A., & Mascarenhas, J. (2022). Analysis of national policies for Circular Economy transitions: Modelling and simulating the Brazilian industrial agreement for electrical and electronic equipment. *Waste Management*, 138, 59–74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.017>
- Hankammer, S., Brenk, S., Fabry, H., Nordemann, A., & Piller, F. T. (2019). Towards circular business models: Identifying consumer needs based on the jobs-to-be-done theory. *Journal of Cleaner Production*, 231, 341–358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.165>
- Hansen, E. G., & Revellio, F. (2020). Circular value creation architectures: Make, ally, buy, or laissez-faire. *Journal of Industrial Ecology*, 24(6), 1250–1273. <https://doi.org/10.1111/jiec.13016>
- Hartley, K., van Santen, R., & Kirchherr, J. (2020). Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). *Resources, Conservation and Recycling*, 155(June 2019), 104634. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104634>
- Hermida, P. M. V., & Araújo, I. E. M. (2006). Elaboração e validação do instrumento de entrevista de enfermagem. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 59(3), 314–320. <https://doi.org/10.1590/s0034-71672006000300012>
- Hjortsø, C. N. (2004). Enhancing public participation in natural resource management using Soft OR - An application of strategic option development and analysis in tactical forest planning. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 667–683. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00065-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00065-1)
- Karagiannopoulos, P. S., Manousakis, N. M., & Psomopoulos, C. S. (2022). A novel ILP formulation for PCB maintenance considering electrical measurements and aging factors: A “right to repair” approach. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010183>
- Kim, C. H., Kuah, A. T. H., & Thirumaran, K. (2022). Morphology for circular economy business models in the electrical and electronic equipment sector of Singapore and South Korea: Findings, implications, and future agenda. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 829–850. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.006>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

- Leal, J. M., Pompidou, S., Charbuillet, C., & Perry, N. (2020). Design for and from recycling: A circular ecodesign approach to improve the circular economy. *Sustainability*, *12*(23), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su12239861>
- Lewandowski, M. (2016). Designing the business models for circular economy-towards the conceptual framework. *Sustainability (Switzerland)*, *8*(1), 1–28. <https://doi.org/10.3390/su8010043>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, *115*, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Makuza, B., Tian, Q., Guo, X., Chattopadhyay, K., & Yu, D. (2021). Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Journal of Power Sources*, *491*. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229622>
- Marconi, M., Gregori, F., Germani, M., Papetti, A., & Favi, C. (2018). An approach to favor industrial symbiosis: The case of waste electrical and electronic equipment. *Procedia Manufacturing*, *21*, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.150>
- Marconi, M., & Lakatos, E. (2003). Fundamentos de metodologia científica. In *Editora Atlas S. A.* <https://doi.org/10.1590/S1517-97022003000100005>
- Martins, L. S., Guimarães, L. F., Botelho Junior, A. B., Tenório, J. A. S., & Espinosa, D. C. R. (2021). Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability. *Journal of Environmental Management*, *295*(March). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113091>
- Mendes-da-Silva, W. (2019). Contribuições e limitações de Revisões Narrativas e Revisões Sistemáticas na área de negócios. *Revista de Administração Contemporânea*, *23*(2).
- Meyer, J. W., & Rowan, B. (1977). Institutionalized Organizations: Formal Structure as Myth and Ceremony. *American Journal of Sociology*, *83*(2), 340–363. <https://doi.org/10.1086/226550>
- Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. *Sustainable Production and Consumption*, *26*, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.008>

- Mingers, J. (2011). Soft OR comes of age-but not everywhere! *Omega*, 39(6), 729–741. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.01.005>
- Mingers, J., & Rosenhead, J. (2004). Problem structuring methods in action. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 530–554. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00056-0)
- MMA. (2022). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. <https://sinir.gov.br/>
- Modgil, S., Gupta, S., Sivarajah, U., & Bhushan, B. (2021). Big data-enabled large-scale group decision making for circular economy: An emerging market context. *Technological Forecasting and Social Change*, 166. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120607>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *BMJ (Online)*, 339(7716), 332–336. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>
- Mozzato, A. R., & Grzybovski, D. (2011). Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da Administração: potencial e desafios. *Revista de Administração Contemporânea*, 15(4), 761–765. <https://doi.org/10.1590/s1415-65552011000400012>
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607–627. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>
- Nowakowski, P., & Mrówczyńska, B. (2018). Towards sustainable WEEE collection and transportation methods in circular economy - Comparative study for rural and urban settlements. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(January 2017), 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.016>
- Ofori, D., Mensah, A. O., Opoku Mensah, A., & Mensah, A. O. (2022). Sustainable electronic waste management among households: a circular economy perspective from a developing economy. *Management of Environmental Quality*, 33(1), 64–85.

<https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2021-0089>

- Oliveira, C. T., Luna, M. M. M., & Campos, L. M. S. (2019). Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 235, 562–573. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.319>
- Oliveira, J. C., Lopes, J. M., Farinha, L., Silva, S., Luízio, M., Oliveira, J. C., Lopes, J. M., Farinha, L., Silva, S., & Luizio, M. (2022). Orchestrating entrepreneurial ecosystems in circular economy: the new paradigm of sustainable competitiveness. *Management of Environmental Quality*, 33(1), 103–123. <https://doi.org/10.1108/MEQ-11-2020-0271>
- Ongondo, F. O., Williams, I. D., & Cherrett, T. J. (2011). How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management*, 31(4), 714–730. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.023>
- Ormerod, R. J. (2014). OR competences: the demands of problem structuring methods. *EURO Journal on Decision Processes*, 2(3–4), 313–340. <https://doi.org/10.1007/s40070-013-0021-6>
- Otoni, M., Dias, P., & Xavier, L. H. (2020). A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 261, 120990. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>
- Paes, M. X., de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Ribeiro, F. de M., Puppim de Oliveira, J. A., & de Oliveira, J. A. P. (2021). Transition to circular economy in Brazil A look at the municipal solid waste management in the state of Sao Paulo. *Management Decision*, 59(8), 1827–1840. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-1053>
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & Resende, L. M. (2015). Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, 105(3), 2109–2135. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & Resende, L. M. (2017). Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. *Ciência Da Informação*, 46(2), 161–187. <https://doi.org/10.18225/ci.inf.v47i1.1886>
- Parajuly, K., Fitzpatrick, C., Muldoon, O., & Kuehr, R. (2020). Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU.

- Resources, Conservation and Recycling: X*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100035>
- Piątek, J., Afyon, S., Budnyak, T. M., Budnyk, S., Sipponen, M. H., & Slabon, A. (2021). Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling. *Advanced Energy Materials*, 11(43). <https://doi.org/10.1002/aenm.202003456>
- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., & Latan, H. (2022). Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 483–499. <https://doi.org/10.1002/bse.2905>
- Polzer, V. R., Pisani, M. A. J., & Persson, K. M. (2016). The importance of extended producer responsibility and the national policy of solid waste in Brazil. *International Journal of Environment and Waste Management*, 18(2), 101–119. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2016.080398>
- Rasmussen, M. B., Pagels, K. O., & Ramanujan, D. (2020). Supporting Household Waste Sorting Practices by Addressing Information Gaps. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 20(4). <https://doi.org/10.1115/1.4046734>
- Rebehy, P. C. P. W., Lima, S. A. dos S., Novi, J. C., & Salgado Jr., A. P. (2019). Reverse logistics systems in Brazil: Comparative study and interest of multistakeholders. *Journal of Environmental Management*, 250(June), 109223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.124>
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Rieg, D. L., & Araújo Filho, T. de. (2003). Mapas Cognitivos como Ferramenta de Estruturação e Resolução de Problemas: o caso da pró-reitoria de extensão da UFSCar. *Gestão & Produção*, 10(2), 145–162.
- Rosenhead, J. (1996). What's the problem? An introduction to problem structuring methods. *Interfaces*, 26(6), 117–131. <https://doi.org/10.1287/inte.26.6.117>
- Saravia, E., & Ferrarezi, E. (2006). Políticas Públicas: Coletânea - Volume 1. In *Políticas públicas Retos y desafíos para la gobernabilidad* (Vol. 1). ENAP.

<https://doi.org/10.2307/j.ctvbcczzg.7>

- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, *17*, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>
- Schneider, A. F. (2016). *The recycling of electronic waste: Regulations and corporate strategies in Brazil and in Europe*. Universidade de São Paulo.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(1), 77–95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
- Scomazzon, P. (2021). *Modelo de referência para prática do design orientada à economia circular*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Shahbazi, S., Johansen, K., & Sundin, E. (2021). Product design for automated remanufacturing—a case study of electric and electronic equipment in sweden. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(16). <https://doi.org/10.3390/su13169039>
- Sharma, H. B., Vanapalli, K. R., Samal, B., Cheela, V. R. S. S., Dubey, B. K., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of the Total Environment*, *800*, 149605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>
- Shittu, O. S., Williams, I. D., & Shaw, P. J. (2021). Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, *120*, 549–563. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.016>
- Silva, E. L., & Menezes, E. M. (2005). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação* (4<sup>a</sup> ed.). Universidade Federal de Santa Catarina.
- Singh, S., Trivedi, B., Dasgupta, M. S., & Routroy, S. (2021). A bibliometric analysis of circular economy concept in E-waste research during the period 2008-2020. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 8519–8524. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.525>
- Sousa-Zomer, T. T., Magalhães, L., Zancul, E., Campos, L. M. S. S., Cauchick-Miguel, P. A., Magalhaes, L., Zancul, E., Campos, L. M. S. S., & Cauchick-Miguel, P. A. (2018). Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer. *Journal of Cleaner Production*, *185*, 740–

748. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.006>
- Souza, M. T., Silva, M. D., & Carvalho, R. (2010). Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein*, 8(1), 102–106. <https://doi.org/10.1111/pedi.12792>
- Souza, R. G., Rosenhead, J., Salhofer, S. P., Valle, R. A. B., & Lins, M. P. E. (2015). Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 105, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.051>
- Thompson, D. L., Hartley, J. M., Lambert, S. M., Shiref, M., Harper, G. D. J., Kendrick, E., Anderson, P., Ryder, K. S., Gaines, L., & Abbott, A. P. (2020). The importance of design in lithium ion battery recycling-a critical review. *Green Chemistry*, 22(22), 7585–7603. <https://doi.org/10.1039/d0gc02745f>
- Thompson, S. (2012). *Sampling* (3<sup>a</sup> ed.). Wiley.
- Tipu, S. A. A. (2021). Organizational change for environmental, social, and financial sustainability: A systematic literature review. *Review of Managerial Science*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11846-021-00494-5>
- Tolio, T., Bernard, A., Colledani, M., Kara, S., Seliger, G., Duflou, J., Battaia, O., & Takata, S. (2017). Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(2), 585–609. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.001>
- União Europeia. (2003). *Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE)*. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0010.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.0010.02/DOC_1&format=PDF)
- Vanegas, P., Peeters, J. R., Cattrysse, D., Tecchio, P., Ardente, F., Mathieux, F., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2018). Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(January 2017), 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022>
- Vidal, R. V. V. (2005). Soft or Approaches. *Engevista*, 7(1), 4–20. <https://doi.org/10.22409/engevista.v7i1.153>
- Werning, J. P., & Spinler, S. (2020). Transition to circular economy on firm level: Barrier identification and prioritization along the value chain. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118609>

- Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal OfAdvanced Nursing*, 52(5), 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2007.11.006>
- Wu, Z., Soh, T., Chan, J. J., Meng, S., Meyer, D., Srinivasan, M., & Tay, C. Y. (2020). Repurposing of Fruit Peel Waste as a Green Reductant for Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries. *Environmental Science and Technology*, 54(15), 9681–9692. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02873>
- Xavier, L. H., Ottoni, M., & Lepawsky, J. (2021). Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>
- Yang, Y., Okonkwo, E. G., Huang, G., Xu, S., Sun, W., & He, Y. (2021). On the sustainability of lithium ion battery industry – A review and perspective. *Energy Storage Materials*, 36, 186–212. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.019>
- Yi, S. L., & Wu, C.-F. F. (2021). Green-extension design—a new strategy to reduce the environmental pressure from the existing consumer electronics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph18189596>
- Zhong, S., & Pearce, J. M. (2018). Tightening the loop on the circular economy: Coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.023>

## 8. APÊNDICES

### APÊNDICE A – Roteiro de entrevista semiestruturada



Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas – FACE  
Programa de Pós-graduação em Administração – PPGA

#### Roteiro de entrevista semiestruturada

Mestrando: Raphael Salviano de Souza  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Guarnieri

**Objetivo da pesquisa:** propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos.

#### Objetivos específicos:

OE 1: Identificar os princípios da economia circular referentes às fases de *design* e fabricação de equipamentos;

OE 2: Mapear os gargalos da cadeia de revalorização de REEE brasileira na visão de diferentes *stakeholders*;

OE 3: Levantar alternativas para a institucionalização dos princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos junto a diferentes *stakeholders*;

OE 4: Analisar a contribuição das alternativas levantadas aos gargalos mapeados da cadeia de revalorização de REEE brasileira.

#### I – Identificação da organização

- 1) Nome da organização
- 2) Tipo de organização
  - ( ) Ente governamental (poder público)
  - ( ) Instituição de pesquisa
  - ( ) Entidade representativa do setor privado sem fins lucrativos
  - ( ) Organização do Terceiro Setor
  - ( ) Empresa
  - ( ) Outro. Qual?
- 3) Cargo/função desempenhada pelo representante
- 4) Nível de escolaridade do representante
- 5) Área de formação do representante
- 6) Tempo de experiência do representante na organização (em anos).

## II – Economia circular

- 1) O que o(a) Sr.(a) entende por economia circular?
- 2) O(a) Sr.(a) enxerga benefícios na implementação da economia circular no Brasil? Se sim, quais?
- 3) Quais atores seriam impactados pela implementação da economia circular no Brasil e de que forma?
- 4) O(a) Sr.(a) tem conhecimento de alguma legislação que contribui para que organizações (entes governamentais, privados e do terceiro setor) adotem medidas ou comportamentos em prol da economia circular? Se sim, quais? Justifique.

## III – Cadeia de revalorização de REEE brasileira

- 5) Na sua visão, quem são os principais atores envolvidos na cadeia de revalorização de REEE no Brasil?
- 6) Na sua visão, existem obstáculos/desafios na cadeia de revalorização de REEE brasileira? Se sim, quais são eles?
- 7) Como aumentar a taxa de reintrodução dos REEE de equipamentos produzidos no país na cadeia de revalorização formal?
- 8) Segundo a Green Eletron (2021), materiais de alto valor provenientes de placas de produtos eletroeletrônicos são exportados para reciclagem industrial, enquanto à indústria nacional são destinados apenas os materiais de menor valor presentes na composição dos equipamentos. Como evitar que isto ocorra?
- 9) O(a) Sr.(a) acha que os equipamentos eletroeletrônicos são otimizados para a fase da reciclagem?
- 10) O(a) Sr. (a) acha que os atores da cadeia de reciclagem estão suficientemente preparados para tratar os equipamentos eletroeletrônicos como são produzidos atualmente? Justifique.
- 11) Quais os impactos sociais ou ambientais o(a) Sr.(a) acha que a não revalorização dos equipamentos eletroeletrônicos (descarte inadequado) pode ocasionar?
- 12) O(a) Sr.(a) tem conhecimento de alguma organização (entes governamentais, privados ou do terceiro setor) que considera referência/*benchmark* pela contribuição à implementação da economia circular no setor de eletroeletrônicos no Brasil?
- 13) O(a) Sr.(a) tem conhecimento sobre o acordo setorial para produtos eletroeletrônicos?
- 14) Como a formatação atual do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos ajuda a resolver a problemática da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?
- 15) Qual é a sua avaliação sobre a efetividade do acordo setorial para produtos eletroeletrônicos? Justifique.
- 16) Como o acordo setorial poderia ser formatado para contribuir para a não geração dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos?
- 17) Reike *et al.* (2018) sugerem que o conceito de economia circular pode ser sintetizado em “10 R’s”. Na sua percepção, com quais dos “R’s” o acordo setorial para equipamentos eletroeletrônicos contribui para a implementação da economia circular?
  - ( ) R0 – Recusar
  - ( ) R1 – Reduzir
  - ( ) R2 – Revender, reusar

- ( ) R3 – Reparar
- ( ) R4 – Reformar
- ( ) R5 – Remanufaturar
- ( ) R6 – Reaproveitar
- ( ) R7 – Reciclar materiais
- ( ) R8 – Recuperar energia
- ( ) R9 – Reminerar

#### IV – *Design* e a fabricação de EEE

- 18) Como a economia circular impacta o *design* e a fabricação de equipamentos eletroeletrônicos?
- 19) Como considerar os hábitos/comportamentos dos consumidores nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos?
- 20) Quais práticas poderiam ser adotadas nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos para possibilitar melhores processos de revalorização na fase de reciclagem?
- 21) Quais das práticas citadas, o(a) Sr.(a) considera mais efetivas? Por quê?
- 22) Considerando o ambiente político-legal brasileiro e as características da indústria nacional, o(a) Sr.(a) acha que a implementação dessas práticas é viável? Justifique.
- 23) De que maneiras essas práticas podem ser implementadas para o fechamento do ciclo produtivo e retenção de valor dos produtos/materiais?
- 24) Quais são as consequências da implementação dessas práticas para a cadeia de revalorização de REEE nacional?
- 25) O(a) Sr.(a) tem conhecimento de alguma política de incentivo a fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos para a implementação de medidas de economia circular no Brasil, como a aplicação de materiais reciclados e recicláveis e o desenvolvimento de novos materiais e/ou técnicas produtivas para reduzir a quantidade de resíduos gerados nos processos produtivos de equipamentos eletroeletrônicos?

## APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



Universidade de Brasília – UnB

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas – FACE  
Programa de Pós-graduação em Administração – PPGA

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Convidamos o(a) Sr.(a) para participar de pesquisa referente ao desenvolvimento da dissertação de mestrado do aluno Raphael Salviano de Souza no Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade de Brasília – PPGA/UnB, sob orientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Guarnieri.

A pesquisa intitulada **“Estratégias para a revalorização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil: aplicando princípios da Economia Circular”** tem como objetivo geral propor estratégias para aprimorar a cadeia de revalorização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE nacional por meio da institucionalização de princípios da economia circular nas fases de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos.

Essa pesquisa segue os princípios éticos determinados pelo Conselho Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP, garantindo o completo anonimato dos entrevistados. Ressaltamos que a pesquisa não necessitou de aprovação do Comitê de Ética da Universidade de Brasília visto que não faz experimentos com seres humanos e animais, não trata de população vulnerável e assunto sensível, requerendo apenas a percepção e opinião dos participantes sobre o fenômeno estudado.

Sua participação é voluntária e, caso aceite colaborar com o desenvolvimento dessa pesquisa, o(a) Sr.(a) participará de uma entrevista individual (presencial ou online), com duração estimada de 1 (uma) hora, para a coleta de dados, que deverá ser gravada (por vídeo e/ou áudio) para possibilitar o registro integral das respostas e posterior tratamento analítico. Os arquivos de vídeo e/ou áudio provenientes da entrevista serão tratados com elevado padrão de rigor e confidencialidade, identificados por meio de um código numérico que serão acessados somente pelo pesquisador e pela orientadora responsável. Sob nenhuma hipótese a identidade dos entrevistados será divulgada.

Caso sinta-se desconfortável em responder alguma das perguntas constantes no roteiro, o(a) Sr.(a) poderá optar por não respondê-la. Mesmo depois de consentir em participar, poderá declinar sua continuação na pesquisa. Desta forma, assegura-se o seu direito e a liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento, antes ou depois da coleta dos dados e independente do motivo, sem nenhum prejuízo a sua pessoa. Ressaltamos que, ao consentir participar da pesquisa, o(a) Sr.(a) contribuirá para o desenvolvimento das políticas públicas de reciclagem de resíduos nacionais. Adicionalmente, a dissertação resultante dessa pesquisa será publicada na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD da Universidade de Brasília, e poderá ser acessada pelo(a) Sr.(a), por sua organização e por outros atores interessados.

Em caso de dúvidas ou reclamações, os pesquisadores poderão ser contatados por meio dos endereços de e-mail [raphael.salviano@outlook.com](mailto:raphael.salviano@outlook.com) ou [pguarnieri@unb.br](mailto:pguarnieri@unb.br). Uma via deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido lhe será disponibilizada.

**Ao assinar abaixo, o(a) Sr.(a) consente em participar desta pesquisa.**

Brasília – DF, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) entrevistado(a)

\_\_\_\_\_  
Assinatura do pesquisador

**APÊNDICE C – Relação de construtos do mapa cognitivo agregado**

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
1. Ações para a recuperação de valor	viabilizam	5. Mineração urbana
1. Ações para a recuperação de valor	viabilizam	4. Logística reversa
10. Aumento do número de PEVs	promove	14. Aumento do volume descartado pelos consumidores
11. Ações de educação ambiental	promovem	14. Aumento do volume descartado pelos consumidores
12. Revisão do Decreto nº 10.240/2020	requer	15. Responsabilização dos importadores
12. Revisão do Decreto nº 10.240/2020	requer	16. Ampliação do alcance geográfico das metas de coleta
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	sugerem	19. Taxação da exportação de REEE
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	promovem	22. Estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	estimulam	6. Novos modelos de negócio
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	sugerem	20. Criação de CNAE para a atividade de remanufatura reversa
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	sugerem	21. Mudança do regime tributário incidente sobre matérias-primas secundárias
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	viabilizam	18. Atração de investimentos para implantação de indústria de refino de metais preciosos
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	promovem	23. Estímulo à formalização de atores informais
13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor	promovem	17. Descentralização geográfica do negócios do setor

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
14. Aumento do volume descartado pelos consumidores	viabiliza	18. Atração de investimentos para implantação de indústria de refino de metais preciosos
14. Aumento do volume descartado pelos consumidores	promove	59. Redução do descarte inadequado
15. Responsabilização dos importadores	estimula	14. Aumento do volume descartado pelos consumidores
16. Ampliação do alcance geográfico das metas de coleta	promove	17. Descentralização geográfica do negócios do setor
17. Descentralização geográfica do negócios do setor	estimula	58. Criação de novas empresas
18. Atração de investimentos para implantação de indústria de refino de metais preciosos	estimula	58. Criação de novas empresas
18. Atração de investimentos para implantação de indústria de refino de metais preciosos	(-)	22. Estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos
19. Taxação da exportação de REEE	promove	22. Estímulo ao desenvolvimento de tecnologias nacionais de refino de metais preciosos
19. Taxação da exportação de REEE	promove	18. Atração de investimentos para implantação de indústria de refino de metais preciosos
2. Ações para a adição de valor	estimulam	7. Ecodesign
2. Ações para a adição de valor	geram	6. Novos modelos de negócio
20. Criação de CNAE para a atividade de remanufatura reversa	estimula	23. Estímulo à formalização de atores informais
21. Mudança do regime tributário incidente sobre matérias-primas secundárias	estimula	23. Estímulo à formalização de atores informais
22. Estímulo ao desenvolvimento de tecnologias	estimula	58. Criação de novas empresas

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
nacionais de refino de metais preciosos		
23. Estímulo à formalização de atores informais	promove	57. Redução da concorrência desleal com o setor formal
24. Criação de novas linhas de negócio	sugerem	28. Oferta de rede de assistência técnica
24. Criação de novas linhas de negócio	estimula	44. Eliminação das estratégias de obsolescência programada
24. Criação de novas linhas de negócio	sugerem	29. Venda de partes e componentes
24. Criação de novas linhas de negócio	estimula	58. Criação de novas empresas
24. Criação de novas linhas de negócio	sugerem	27. Criação de planos de atualização de EEE
25. Adoção de modelos de negócio servitizados	promove	54. Redução da geração de resíduos
26. Incentivo a modelos de economia colaborativa	promove	54. Redução da geração de resíduos
27. Criação de planos de atualização de EEE	promove	54. Redução da geração de resíduos
27. Criação de planos de atualização de EEE	promove	9. Incentivos para descarte ao consumidor
28. Oferta de rede de assistência técnica	promove	54. Redução da geração de resíduos
29. Venda de partes e componentes	promove	54. Redução da geração de resíduos
3. Ações para a retenção de valor	promovem	8. Extensão da vida útil
30. Adoção do conceito de DfX	estimula	31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis
30. Adoção do conceito de DfX	estimula	34. Desenho de EEE mais reutilizáveis

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
30. Adoção do conceito de DfX	estimula	32. Desenho de EEE mais facilmente desmontáveis
30. Adoção do conceito de DfX	estimula	33. Desenho de EEE mais duráveis
31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis	requer	37. Utilização de matéria-prima reciclada
31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis	requer	39. Redução da aplicação de substâncias perigosas
31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis	requer	38. Redução da mistura de materiais
31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis	requer	36. Identificação dos materiais utilizados nas partes e componentes
31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis	requer	35. Utilização de matéria-prima rastreável
31. Desenho de EEE mais facilmente recicláveis	requer	47. Avaliação do ciclo de vida do EEE
32. Desenho de EEE mais facilmente desmontáveis	requer	42. Redução do uso de cola na junta das partes e componentes
32. Desenho de EEE mais facilmente desmontáveis	requer	40. Redução da utilização de tipos de juntas diferentes
32. Desenho de EEE mais facilmente desmontáveis	requer	41. Redução de insertos metálicos
32. Desenho de EEE mais facilmente desmontáveis	requer	43. Desenvolvimento de EEE modulares
33. Desenho de EEE mais duráveis	requer	43. Desenvolvimento de EEE modulares
33. Desenho de EEE mais duráveis	requer	46. Aplicação de materiais mais resistentes
33. Desenho de EEE mais duráveis	requer	45. Cocriação de EEE entre atores da cadeia de suprimentos
33. Desenho de EEE mais duráveis	requer	44. Eliminação das estratégias de obsolescência programada

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
34. Desenho de EEE mais reutilizáveis	requer	47. Avaliação do ciclo de vida do EEE
34. Desenho de EEE mais reutilizáveis	requer	48. Desenvolvimento de EEE recicláveis
35. Utilização de matéria-prima rastreável	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
36. Identificação dos materiais utilizados nas partes e componentes	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
37. Utilização de matéria-prima reciclada	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
38. Redução da mistura de materiais	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
39. Redução da aplicação de substâncias perigosas	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
4. Logística reversa	requer	13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor
4. Logística reversa	requer	11. Ações de educação ambiental
4. Logística reversa	viabiliza	5. Mineração urbana
4. Logística reversa	requer	9. Incentivos para descarte ao consumidor
4. Logística reversa	requer	12. Revisão do Decreto nº 10.240/2020
4. Logística reversa	promove	10. Aumento do número de PEVs
40. Redução da utilização de tipos de juntas diferentes	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
41. Redução de insertos metálicos	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas
42. Redução do uso de cola na junta das partes e componentes	viabiliza	55. Aplicação de técnicas destrutivas

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
43. Desenvolvimento de EEE modulares	promove	56. Facilitação dos processos de reciclagem industrial
44. Eliminação das estratégias de obsolescência programada	promove	54. Redução da geração de resíduos
45. Cocriação de EEE entre atores da cadeia de suprimentos	promove	54. Redução da geração de resíduos
46. Aplicação de materiais mais resistentes	promove	54. Redução da geração de resíduos
47. Avaliação do ciclo de vida do EEE	promove	54. Redução da geração de resíduos
48. Desenvolvimento de EEE recicláveis	promove	56. Facilitação dos processos de reciclagem industrial
49. Foco na função dos EEE	viabiliza	30. Adoção do conceito de DfX
49. Foco na função dos EEE	viabiliza	25. Adoção de modelos de negócio servitizados
49. Foco na função dos EEE	viabiliza	26. Incentivo a modelos de economia colaborativa
5. Mineração urbana	requer	13. Incentivos econômicos para o desenvolvimento do setor
50. Aplicação de técnicas não destrutivas	requer	28. Oferta de rede de assistência técnica
50. Aplicação de técnicas não destrutivas	requer	29. Venda de partes e componentes
50. Aplicação de técnicas não destrutivas	sugere	51. Viabilização do autorreparo
50. Aplicação de técnicas não destrutivas	requer	32. Desenho de EEE mais facilmente desmontáveis
51. Viabilização do autorreparo	promove	54. Redução da geração de resíduos
52. Criação de programas de garantia estendida	promove	54. Redução da geração de resíduos
53. Criação de mecanismo de redução das metas de coleta de	estimula	34. Desenho de EEE mais reutilizáveis

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
resíduos com base na longevidade e reciclabilidade dos EEE		
54. Redução da geração de resíduos	estimula	63. Aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE
55. Aplicação de técnicas destrutivas	promove	56. Facilitação dos processos de reciclagem industrial
56. Facilitação dos processos de reciclagem industrial	promove	60. Aumento da reciclagem de EEE
57. Redução da concorrência desleal com o setor formal	promove	58. Criação de novas empresas
57. Redução da concorrência desleal com o setor formal	promove	62. Desenvolvimento do setor
58. Criação de novas empresas	promove	60. Aumento da reciclagem de EEE
58. Criação de novas empresas	promove	62. Desenvolvimento do setor
59. Redução do descarte inadequado	promove	60. Aumento da reciclagem de EEE
6. Novos modelos de negócio	sugerem	26. Incentivo a modelos de economia colaborativa
6. Novos modelos de negócio	sugerem	24. Criação de novas linhas de negócio
6. Novos modelos de negócio	requerem	49. Foco na função dos EEE
6. Novos modelos de negócio	requerem	7. Ecodesign
6. Novos modelos de negócio	sugerem	25. Adoção de modelos de negócio servitizados
60. Aumento da reciclagem de EEE	estimula	63. Aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE
62. Desenvolvimento do setor	estimula	63. Aprimoramento da cadeia de revalorização de REEE
7. Ecodesign	estimula	30. Adoção do conceito de DfX
7. Ecodesign	requer	49. Foco na função dos EEE

<b>Construto causa</b>	<b>Frase de ligação</b>	<b>Construto consequência</b>
7. Ecodesign	viabiliza	8. Extensão da vida útil
8. Extensão da vida útil	sugere	53. Criação de mecanismo de redução das metas de coleta de resíduos com base na longevidade e reciclabilidade dos EEE
8. Extensão da vida útil	sugere	52. Criação de programas de garantia estendida
8. Extensão da vida útil	requer	50. Aplicação de técnicas não destrutivas
9. Incentivos para descarte ao consumidor	promove	14. Aumento do volume descartado pelos consumidores