



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CIRO HENRIQUE DE ARAÚJO FERNANDES

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTE AO
GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS**

Caruaru

2020

CIRO HENRIQUE DE ARAÚJO FERNANDES

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTE AO
GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização
Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Camara e Silva.

Caruaru

2020

CIRO HENRIQUE DE ARAÚJO FERNANDES

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIO PARA SUPORTE AO
GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 02/06/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lúcio Camara e Silva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Marcele Elisa Fontana (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Simone Machado Santos (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por me guiar sempre pelo melhor caminho, por ser a luz na minha vida e não me deixar abaixar a cabeça diante das dificuldades. Agradeço também a São Miguel Arcanjo por me proteger das pessoas das pessoas negativas que passaram, e ainda vão passar, pela minha vida, mas, acima de tudo, por me mostrar que é do bem e quer me ver bem.

Agradeço a minha mãe, Elizabete, por ser o maior exemplo de pessoa que tenho na vida e que fez, e faz, de tudo para que eu alcance meus objetivos. À minha família, por todo suporte nos momentos difíceis e pelos risos nos momentos de descontração. Em especial aos meus padrinhos: Ana Patricia e José Airton. Aos meus tios Evaldo e Elaine. Aos tios Edvaldo e Edenia que partiram em 2019, deixaram saudade, mas também muito carinho e amor no coração de todos. Obrigado aos primos Carol, Cindy, Gustavo e Igor que estão sempre presentes e dando apoio.

Também quero agradecer aos meus amigos, pelo companheirismo e suporte no caminho percorrido, em especial a Pedro e Leiziane, e também para: Américo, Carla, Flávio, Abel, Olavo, Rodrigo e a todos os que de alguma forma fizeram parte dessa minha etapa de vida. Obrigado pela força que vocês me dão e por estarem sempre preocupados comigo.

Agradeço ao professor Dr. Lúcio Silva por contribuir para meu amadurecimento no âmbito acadêmico. E aos outros professores do programa PPGEP-CAA que também puderam me passar um pouco do seu conhecimento e aprendizado. Agradeço também aos que participaram contribuindo com dados para essa pesquisa e dedicaram um pouco do seu tempo para contribuir para a pesquisa acadêmica. Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) que contribuem para o desenvolvimento de pesquisa no país e que fomenta pesquisas ao GPSID.

Por fim, agradeço a oportunidade de poder desfrutar de um ensino superior público, gratuito e de qualidade. Valorizo a oportunidade e espero retribuir futuramente muito mais para a sociedade.

“Não podemos prever o futuro, mas podemos criá-lo”
(DRUCKER, 1974, p. 44)

RESUMO

Considerando a preocupação global em equilibrar o crescimento econômico com sustentabilidade ambiental, esse trabalho teve como objetivo propor um modelo de apoio multicritério à decisão, fundamentado no método *FI Tradeoff* de ordenação, para apoiar decisões de políticas da gestão de sistemas de coleta de resíduos eletroeletrônicos. A partir de uma revisão da sistemática literatura e análise bibliométrica, observou-se uma tendência de crescimento nos estudos sobre resíduos eletroeletrônicos devido a preocupação de governos, partes interessadas e população em abordar melhor o gerenciamento desses resíduos. Além disso, lacunas foram observadas e uma delas serviu de direcionamento para este trabalho: um estudo que associa a pesquisa operacional e a gestão de coleta de REEE. Com uma revisão teórica, são apresentados alguns tipos de sistemas mais comuns de coleta existentes. A partir disso, um modelo de decisão foi proposto considerando aspectos como a Responsabilidade Compartilhada, Acordo Setorial e *Extended Producer Responsibility* (EPR). O modelo é estruturado em fases que auxilia desde o levantamento de informações até o suporte a tomada de decisão. Diversas alternativas e critérios são apresentados a partir de um levantamento dos principais trabalhos publicados que envolvem multicritério e a temática e são adaptados como sugestão de utilização no modelo utilizado na pesquisa. Após a aplicação do modelo proposto, feito com um decisor atuante em uma organização pública federal, obteve-se o *ranking* final com 10 posições de alternativas que auxiliam na tomada de decisão e gestão de coleta de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). Além disso, foram feitas recomendações de EPR e Acordo setorial, para que fabricantes passem a ter mais responsabilidade na concepção e na rastreabilidade do produto, para garantir de maneira efetiva sua recuperação após o descarte. Outra recomendação importante é que as ações de coleta passem a ser acordos entre fabricantes, importadores, distribuidores, vendedores, governo e consumidores. Dessa forma, o modelo multicritério desenvolvido permitiu alcançar o objetivo proposto pelo trabalho com recomendações para apoiar decisões relacionadas a coleta de REEE, além de incrementar e contribuir para a literatura com um modelo e sua aplicação voltado para o setor público.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos. Gerenciamento. Sistemas de coleta. Abordagem multicritério.

ABSTRACT

Considering the global concern in balancing economic growth with environmental sustainability, this work aimed to propose a model of multicriteria decision support, based on the FITradeoff method of ordering, to support policy decisions for the management of electronic waste collection systems. From a review of the systematic literature and bibliometric analysis, there was a growing trend in studies on electronic waste due to the concern of governments, stakeholders and the population to better address the management of this waste. In addition, gaps were observed and one served as a guide for this work: a study that combines operational research and WEEE collection management. With a theoretical review, some types of existing most common collection systems are presented. From this, a decision model was proposed considering aspects such as Shared Responsibility, Sectorial Agreement and Extended Producer Responsibility (EPR). The model is structured in phases that helps from information gathering to support decision making. Several alternatives and criteria are presented based on a survey of the main published works that involve multicriteria and the theme and are adapted as a suggestion for use in the model used in the research. After the application of the proposed model, made with a decision maker working in a federal public organization, the final ranking was obtained with 10 positions of alternatives that assist in decision making and management of the collection of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). In addition, EPR and Sectorial Agreement recommendations were made, so that manufacturers will have more responsibility in the design and traceability of the product, in order to effectively guarantee its recovery after disposal. Another important recommendation is that the collection actions become agreements between manufacturers, importers, distributors, sellers, the government and consumers. In this way, the multicriteria model developed allowed to achieve the objective proposed by the work with recommendations to support decisions related to the collection of WEEE, in addition to increasing and contributing to the literature with a model and its application aimed at the public sector.

Keywords: Solid waste. Management. Collection systems. Multicriteria approach.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Publicações envolvendo REEE e Multicritério de 2008 à 2018.....	36
Figura 2 –	Processo de elicitação do FITradeoff.....	43
Figura 3 –	Nuvem de Palavras	55
Figura 4 –	Etapas da revisão da literatura e análise bibliométrica.....	50
Figura 5 –	Framework das fases do modelo.....	61
Figura 6 –	Fase preparatória.....	61
Figura 7 –	Fase de definição.....	62
Figura 8 –	Fase de estruturação.....	68
Figura 9 –	Fase conclusiva.....	69
Figura 10 –	Processo FITradeoff ordenação.....	74
Figura 11 –	Ambiente do software FITradeoff após ordenar os pesos dos critérios.....	77
Figura 12 –	Ambiente do software FITradeoff durante elicitação.....	78
Figura 13 –	Diagrama de Hasse para o ciclo 11.....	80
Figura 14 –	Diagrama de Hasse para o ciclo 12	81
Figura 15 -	Intervalo de valores para constantes de escala.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Princípios da PNRS.....	22
Quadro 2 –	Classificação dos equipamentos eletroeletrônicos.....	23
Quadro 3 –	Aplicações de MCDA em problemas de decisão relacionados à gestão de REEE	36
Quadro 4 –	Critérios associados aos trabalhos apresentados.....	37
Quadro 5 –	Trabalhos publicados com aplicação do FITradeoff.....	39
Quadro 6 –	Classificação das alternativas.....	45
Quadro 7 –	Critérios de inclusão e exclusão.....	49
Quadro 8 –	Quantidade de trabalhos por tipo de documento.....	49
Quadro 9 –	Descrição dos critérios sugeridos.....	62
Quadro 10 –	Alternativas sugeridas para gerenciamento e coleta de REEE.....	64
Quadro 11 –	Escolhendo um método multicritério para o problema em análise.....	66
Quadro 12 –	Exemplo de uma matriz de consequências.....	68
Quadro 13 –	Critérios e suas características.....	73
Quadro 14 –	Critérios.....	116
Quadro 15 –	Escala likert.....	117
Quadro 16 –	Alternativas.....	118
Quadro 17 –	Avaliação da alternativa 1 com os critérios.....	120
Quadro 18 –	Avaliação da alternativa 2 com os critérios.....	121
Quadro 19 –	Avaliação da alternativa 3 com os critérios.....	122
Quadro 20 –	Avaliação da alternativa 4 com os critérios.....	123
Quadro 21 –	Avaliação da alternativa 5 com os critérios.....	124
Quadro 22 –	Avaliação da alternativa 6 com os critérios.....	125
Quadro 23 –	Avaliação da alternativa 7 com os critérios.....	126
Quadro 24 –	Avaliação da alternativa 8 com os critérios.....	127
Quadro 25 –	Avaliação da alternativa 9 com os critérios.....	128
Quadro 26 –	Avaliação da alternativa 10 com os critérios.....	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Matriz de consequências do problema.....	74
Tabela 2 –	Planilha para upload no software FITradeoff.....	75
Tabela 3 –	Ciclos e preferências do decisor durante o processo de elicitção flexível	79
Tabela 4 –	Ranking final de alternativas.....	82
Tabela 5 –	Valores dos espaços de pesos das constantes de escala.	83

LISTA DE SIGLAS

ABINEE	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
EEE	EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS
EPR	<i>EXTENDED PRODUCER RESPONSIBILITY</i>
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA
LR	LOGÍSTICA REVERSA
MCDA	ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO
MMA	MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE PGRS – PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
OCDE	ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
ONU	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
PEV	PONTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
PMGIRS	PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
PNRS	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
PNUMA	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE
PO	PESQUISA OPERACIONAL
POPS	POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES
REEE	RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS
RSU	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
TBL	<i>TRIPLE BOTTOM LINE</i>
WEEE	<i>WASTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT</i>
WOS	<i>WEB OF SCIENCE</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	18
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	20
2.1.1	Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)	22
2.1.1.1	<i>Diretiva 2012/19/EU</i>	<i>24</i>
2.1.2	Gerenciamento de REEE	25
2.1.2.1	<i>Desafios e oportunidades sobre gerenciamento de REEE no Brasil</i>	<i>26</i>
2.1.2.2	<i>Sistemas de coleta de REEE</i>	<i>28</i>
2.2	LOGÍSTICA REVERSA (LR)	29
2.2.1	Sustentabilidade e REEE	31
2.2.2	Triple Bottom Line	32
2.2.3	Responsabilidade Estendida do Produtor	32
2.3	PESQUISA OPERACIONAL (PO) NO GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE REEE	33
2.3.1	Fittradeoff	37
2.3.1.1	<i>FitTradeoff para ordenação</i>	<i>45</i>
3	ESTADO DA ARTE SOBRE GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE REEE	47
3.1	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE SOBRE O GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE REEE	54
4	METODOLOGIA	58
4.1	REVISÃO DA LITERATURA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	58
4.2	MODELO PROPOSTO	59
4.2.1	Fase preparatória	60
4.2.2	Fase de definição	61
4.2.3	Fase de estruturação	65
4.2.4	Fase conclusiva	67

5	<i>APLICAÇÃO DO MODELO</i>	69
5.1	FASE PREPARATÓRIA	69
5.1.1	Contextualização do problema	69
5.1.2	Definição de atores da responsabilidade compartilhada	69
5.1.3	Caracterização do(s) decisor(es)	70
5.1.4	Identificação dos objetivos	70
5.2	FASE DE DEFINIÇÃO	70
5.2.1	Definição dos critérios	70
5.2.2	Definição das alternativas	71
5.2.3	Proposição e justificativa do método MCDA	71
5.3	FASE DE ESTRUTURAÇÃO	71
5.3.1	Avaliação intracritério	71
5.3.2	Modelagem do problema	72
5.3.3	Avaliação intercritério	75
5.4	FASE CONCLUSIVA	77
5.4.1	Resolução do problema	77
5.4.2	Feedback da modelagem	78
5.4.3	Considerações finais sobre a aplicação do modelo	83
6	<i>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	85
6.1	CONCLUSÕES	85
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE A - ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA	111
	APÊNDICE B - CRITÉRIOS E SUAS DESCRIÇÕES	115
	APÊNDICE C - ALTERNATIVAS E SUAS DESCRIÇÕES	117
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE CONSEQUÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

Equilibrar o crescimento econômico com sustentabilidade ambiental é um desafio para as gerações atuais e futuras. As elevadas taxas de consumo da população mundial, juntamente com o crescimento populacional, impulsionaram a produção de diversos produtos nas últimas décadas, entre eles os eletroeletrônicos. Como consequência, os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) estão em um processo rápido de expansão e seu volume aumenta em uma taxa de 3 a 5% ao ano (CUCCHIELLA et al., 2015).

Esse aumento é justificado pela redução dos preços de venda dos produtos, aumento da inovação tecnológica e diminuição significativa do tempo de vida útil desses equipamentos (FRANCO e LANGE, 2011). Dessa forma, é previsto que em 2020 o planeta tenha uma produção de cerca de 50 milhões de toneladas de REEE (BALDÉ et al., 2017).

No Brasil, estima-se que a geração média de REEE seja igual a 1,4 milhão de toneladas por ano (ARAUJO et al., 2015). Isso dá ao país o título de maior produtor de lixo eletrônico da América Latina e o sétimo maior do mundo, segundo o estudo Global E-Waste Monitor 2017, realizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) (SILVA, 2018).

Em 2012, por exemplo, 62 milhões de telefones celulares foram vendidos no Brasil, com um total de 256 milhões de linhas ativas (IDC, 2012, ANATEL, 2012). Nesse mesmo ano, 18% dos brasileiros descartam seus telefones celulares usados no lixo, segundo pesquisa do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA, 2012). Dessa forma, é necessário refletir sobre as implicações ambientais desse aumento no consumo (AL RAZI, 2016).

O descarte inapropriado de REEE em lixões ou aterros não controlados promove a lixiviação de substâncias perigosas, como metais pesados, causando diversos impactos ao meio ambiente e à saúde humana (SONG; LI, 2015). Por outro lado, esses produtos em fase de final de vida contêm materiais preciosos que podem ser recuperados, por isso precisam ser tratados e descartados adequadamente (MIHAI e GNONI, 2016; DE OLIVEIRA et al., 2012).

Observa-se que a maioria dos resíduos produzidos no Brasil tem um destino ambientalmente inadequado, gerando impactos significativos para todo ecossistema (GOUVEIA, 2012). Apesar disso, estão sendo tomadas medidas para aliviar esses impactos com a introdução da Lei 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada em agosto de 2010. Ela reúne os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações que serão adotados pela União, Estados e Municípios visando à gestão integrada e o

gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). A partir da PNRS, também são definidas como prioritárias as ações de logística reversa de seis categorias de resíduos: i) pilhas e baterias; ii) lâmpadas; iii) embalagens e resíduos de agrotóxicos, iv) equipamentos eletroeletrônicos e componentes; v) embalagens e o próprio óleo lubrificante e; vi) pneus inservíveis (BRASIL, 2010a; BRASIL, 2010b).

A implementação de um sistema de gestão de REEE deve ser uma proposta integrativa de vários setores da sociedade (MORRIS e METTERNICHT, 2016; MANOMAIVIBOOL e HONG, 2014). A conscientização do consumidor sobre o descarte adequado de produtos eletrônicos e os benefícios sociais e ambientais dessa prática devem ser levados em consideração (KILIC et al., 2015), bem como o comportamento dos usuários em relação ao desejo de descartar adequadamente os resíduos (ECHEGARAY e HANSSTEIN, 2017).

Felizmente, hoje existem diversos modelos de gestão, formas de tratamento e destinação empregadas para o lixo eletrônico. Por exemplo, numa visão econômica, devido ao risco de interrupção do suprimento de determinadas matérias-primas valiosas, a mineração urbana (*urban mining*) vem ganhando notoriedade, isto é, a extração de metais ou outros materiais a partir de fontes secundárias, tais como os REEE (PROSUM, 2018).

Baldé et al. (2017) comentaram que para obter recursos por meio da mineração urbana, é necessário superar o atual modelo econômico de “extrair-produzir-dispor”, adotar uma economia circular que visa manter o valor dos produtos o maior tempo possível, eliminar o desperdício e estimular a reutilização e remanufatura antes da reciclagem dos REEE, para facilitar a desmontagem e reutilização de componentes e a recuperação de materiais.

Assim, uma implementação adequada do gerenciamento de REEE deve considerar um conjunto de critérios de sustentabilidade, alinhados tanto com os objetivos das PNRS como com os valores de *stakeholders* específicos do contexto (DE SOUZA et al., 2016). Esta necessidade proporcionou a motivação para o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão visando a otimização da rede de logística reversa.

Nesta perspectiva, a Análise de Decisão Multicritério (MCDA) para Behzadian et al. (2010), tem sido uma das áreas de rápido crescimento da Pesquisa Operacional (PO) durante as duas últimas décadas. Embora não seja amplamente utilizado para o gerenciamento de REEE, é comumente utilizado para resíduos sólidos (KIDDEE et al., 2013) e gestão de resíduos perigosos. Mesmo assim, a MCDA tem sido recomendada para a resposta social à gestão de resíduos eletrônicos (WILLIAMS, 2005), tornando-se uma ferramenta útil em combinação com outras ferramentas utilizadas para a gestão desses resíduos.

Dado o exposto, num cenário de crescimento do consumo e da geração constante de lixo eletrônico, existe a necessidade e motivação para desenvolvimento de ferramentas de suporte a decisão que respondam ao questionamento: considerando as legislações vigentes, quais alternativas podem auxiliar nas políticas da gestão associadas ao gerenciamento adequado da coleta de REEE?

1.1 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho foi propor um modelo multicritério que auxilie gestores públicos na tomada de decisões de políticas da gestão de sistemas de coleta de resíduos eletroeletrônicos, priorizando alternativas potenciais para sugestão de implementação.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Elaborar uma revisão da literatura e análise bibliométrica, mostrando os principais problemas e números associados as publicações envolvendo Sistemas de Coleta e Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos;
- Levantar publicações sobre modelos de apoio a decisão no contexto de sistemas de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos, bem como os critérios associados a esses trabalhos;
- Identificar as lacunas dos modelos de apoio a decisão usados no contexto de gestão de resíduos eletroeletrônicos;
- Levantar as principais alternativas dentro da perspectiva de sistemas de coleta de resíduos eletroeletrônicos e propor as que se adequem ou que estejam mais próximas da realidade atual do Brasil.

1.2 Justificativa

Segundo Kaza et al. (2018), globalmente, cerca de 40% dos resíduos são descartados em aterros sanitários e cerca de 33% ainda são despejados a céu aberto. Apesar disso, ainda segundo os autores, governos de todo o mundo têm reconhecido os riscos e buscado métodos mais adequados para a eliminação dos resíduos sólidos urbanos, refletindo uma tendência por métodos de gestão mais sustentáveis.

Essa tendência está demonstrada nas 17 Metas do Desenvolvimento Sustentável estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), sendo a gestão de resíduos mencionada na Agenda 2030, a respeito do manejo de produtos e resíduos que representem

impactos negativos para o meio ambiente. A geração de resíduos sólidos resultantes das atividades humanas é um assunto de relevância para os gestores, principalmente por terem potencial de causar danos ao meio ambiente e à sociedade, caso não sejam bem geridos (JACOBI & BESEN, 2011). A tipologia de resíduos eletroeletrônicos, em especial, traz consigo impactos substanciais em razão de conter metais tóxicos e outros elementos nocivos à saúde.

A minimização dos impactos ambientais promovidos pelos REEE tem recebido especial atenção, motivando estudos de gestão dessa classe de resíduos. Foi dada especial atenção na recuperação de metais nobres dos resíduos de equipamentos de informática como as placas de circuitos impressa, por exemplo, seja na reciclagem ou na logística reversa dela como nos estudos do Utimura (2014) e Caldas (2017). Além desses estudos, Neves (2015) e Castro (2014) realizaram o diagnóstico da gestão de resíduos gerado de computadores *desktops*, *laptops* e *notebook*, *tablets* e acessórios de informática em São Carlos-SP.

No Brasil, as diretrizes quanto ao descarte correto, responsabilidade compartilhada, reciclagem e logística reversa dos REEE estão previstas na Política Nacional dos Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305 de 2010 que traz a obrigatoriedade e responsabilidade de todos os envolvidos em coletar e destinar corretamente todos os resíduos gerados (PNUMA, 2013). Porém, apesar de possuir norma legal, ocorrem dificuldades de sua implementação, estando longe de ser eficiente quanto à gestão dos REEE, não tendo especificações quanto ao tratamento dentro da PNRS e ainda ser o país que mais gera REEE entre os emergentes (PNUMA, 2013).

Para se ter uma ideia, estima-se que no Brasil, menos de 60% do total de resíduos sólidos está adequadamente disposta em aterros autorizados e apenas 4% do total de resíduos é realmente reciclado, dessa forma, as implicações da geração de resíduos no Brasil são enormes (UN, 2015).

Considerando os argumentos expostos, o primeiro aspecto que torna esse trabalho justificável diz respeito ao incremento no acervo de publicações. Apesar da produção de conhecimento específico sobre REEE ter aumentado no Brasil (DE BRIDA, 2019), um levantamento feito por Silva et al. (2018), mostrou que as publicações envolvendo multicritério e REEE, no mundo, ainda são poucas. Assim, este estudo poderá contribuir para o preenchimento dessa lacuna de pesquisa e se incorporar ao acervo nacional sobre a temática.

O segundo aspecto é o fato do Brasil estar sempre nas primeiras colocações entre os maiores geradores de REEE dentre os países em desenvolvimento (ONGONDO e WILLIAMS;

CHERRET, 2011), tendo muito recurso para gerir, desafios para serem vencidos e inúmeras possibilidades de ganhos em vários campos.

Em relação aos impactos sociais, já como terceiro aspecto de justificativa, os trabalhos de Labuschagne, Brent e Claasen (2005) e Sarkis, Helms e Hervani (2010) mencionam a potencial geração de emprego decorrente das atividades de coleta e reciclagem dos REEE. Por exemplo, para Tong e Wang (2004) a reutilização e a reciclagem de um computador representa uma fonte de emprego nos países em desenvolvimento, principalmente para aqueles trabalhadores que estão à margem do mercado formal de trabalho. Em complemento, Varin e Roinat (2008) destacam que os benefícios econômicos dos REEE podem estar relacionados ao mercado de segunda mão, à criação de empresas de reciclagem e de reutilização de equipamentos eletroeletrônicos além da diminuição dos lixos depositados inadequadamente.

Por último, mas não menos importante, essa pesquisa é relevante pois contribui com informações a respeito de trabalhos publicados na área com aplicações e ações educativas sobre o consumo, descarte e coleta adequada de REEE, buscando melhorar o gerenciamento de REEE e apoiando decisões de gestores nesse aspecto.

1.3 Contribuição do trabalho

A pesquisa preocupa-se em contribuir para a melhoria na gestão de REEE, focando na etapa inicial de coleta que gera impacto em toda a cadeia de gerenciamento. Também contribui com uma revisão da literatura e análise bibliométrica a partir de publicações envolvendo multicritério e REEE, além de um modelo multicritério que apoie decisões dentro da temática. Para isso, as questões de pesquisa que nortearam o trabalho foram as seguintes: 1) Levantamento teórico envolvendo multicritério e REEE no Brasil e no mundo; 2) Pesquisa sobre as legislações federais, nacionais e municipais envolvendo REEE; 3) Identificação dos desafios e oportunidades envolvendo a temática no Brasil; 4) Preencher lacuna existente de trabalhos envolvendo MDCA e REEE; 5) Desenvolvimento de uma revisão da literatura e análise bibliométrica envolvendo REEE e multicritério; e 6) Proposição de um modelo MCDA voltado para a coleta de REEE.

Todos esses pontos serão base para desenvolver o trabalho e fornecer recomendações que auxiliem gestores do setor público na tomada de decisão e pesquisadores no desenvolvimento de novas pesquisas. Além disso, espera-se que a pesquisa contribua também para a melhoria dos seguintes pontos:

- Sustentabilidade ambiental e administrativa no gerenciamento de REEE;
- Redução do descarte incorreto de REEE;
- Oferecer informações úteis aos pesquisadores, contribuindo com a academia nacional e internacional;
- Auxílio na tomada de decisão no gerenciamento de coleta de REEEs; e
- Sugerir prática de EPR e Acordo Setorial como engrenagens no gerenciamento de REEE;

1.4 Estrutura da dissertação

O presente documento está estruturado em 5 capítulos. Neste primeiro capítulo foi feito o enquadramento do caso de estudo com introdução, justificativa, relevância do trabalho e foram referidos os objetivos geral e específicos. O Capítulo 2 fornece o referencial teórico relacionado aos temas abordados no trabalho. O Capítulo 3 apresenta um estudo do estado da arte sobre gerenciamento e coleta de REEE, utilizando-se de uma revisão da literatura e análise bibliométrica.

O Capítulo 4 traz a metodologia utilizada na aplicação do modelo e na revisão sistemática da literatura. O Capítulo 5, por sua vez, traz a aplicação detalhada do modelo com aplicação do método FITradeoff para avaliação das principais alternativas para gestão de REEE, com apresentação dos resultados e *insights* relacionados a modelagem. As conclusões, observações finais, as limitações do estudo e direções para futuras pesquisas estão listados no Capítulo 6.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos Sólidos

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10004, resíduos sólidos podem ser definidos como: “Resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004, p. 1).

A lei 12305/10, promulgada em 2 de agosto de 2010, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define resíduos sólidos da seguinte forma: “Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

O Brasil foi um dos primeiros países da América Latina a estabelecer um marco regulatório abrangente em âmbito federal para embasar a regulamentação da gestão de resíduos sólidos. A PNRS, de 2010, representou um novo paradigma, estabelecendo importantes instrumentos, com destaque para a logística reversa pós-consumo (LR). Define também princípios, objetivos, instrumentos e as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluído os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

O Quadro 1 apresenta um conjunto de princípios, adotados pelo Governo Federal isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares para que ocorra a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Quadro 1 - Princípios da PNRS

NÚMERO	PRINCÍPIO
I	A prevenção e a precaução.
II	O poluidor-pagador e o protetor-recebedor.
III	A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública.
IV	O desenvolvimento sustentável.
V	A ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e traga qualidade de vida e redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente a capacidade de sustentação estimada do planeta.
VI	A cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade.
VII	A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.
VIII	O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.
IX	O respeito às diversidades locais e regionais.
X	O direito da sociedade à informação e ao controle social.
XI	A razoabilidade e a proporcionalidade.

Fonte: adaptado de Brasil (2010)

A logística reversa também teve especial atenção, onde a lei definiu a regulamentação, acordo setorial e termo de compromisso como instrumentos que poderão ser usados para a implantação da logística reversa. O Acordo setorial trata-se de um acordo contratual entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes para a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, onde o principal objetivo é promover a logística reversa (BRASIL, 2010). Entretanto, o acordo setorial, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, aguarda a realização da consulta pública desde 2014, o que prejudica o atendimento das exigências da PNRS (SINIR, 2018).

A lei brasileira também é a primeira regulamentação mundial a reconhecer a importância das organizações de catadores nos fluxos reversos de REEE e estimular a integração destes trabalhadores nos futuros programas de logística reversa (DEMAJOROVIC e MIGLIANO, 2013). Ademais, a PNRS instituiu instrumentos de planejamento a níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal. Sendo que a elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), de acordo a PNRS, passa a ser uma condição para que o município possa ter acesso a recursos da União destinados a

empreendimentos e serviços de limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou terem incentivos ou financiamentos de entidade federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

Após o início da vigência da PNRS, os autores Silva et al. (2011) manifestaram seu entendimento de que o Estado, pelas atribuições que lhe são conferidas, tem o papel de regular e de fiscalizar as atividades que se desviam do desenvolvimento sustentável, além de fomentar a elaboração de alternativas capazes de tornar mais coerentes as ações humanas quanto ao meio ambiente. Ainda na visão dos autores, é importante a participação de terceiros para atender as demandas da sociedade, não sendo tarefa somente do Estado. Seu posicionamento destaca o papel da cidadania, onde o indivíduo e as instituições públicas, privadas e do terceiro setor devem se unir para minimizar os problemas, esclarecendo que é uma obrigação mútua buscar melhorias sociais.

2.1.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Esses resíduos podem receber diversas nomenclaturas, como: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, lixo eletroeletrônico, e-lixo, lixo tecnológico, ou ainda, sucata tecnológica. Em inglês, é comum utilizar o termo WEEE (*Waste of Electrical and Electronic Equipment*) para se referir ao lixo eletrônico (WANG et al., 2012).

Miguez (2010) define REEE como todo resíduo material produzido pelo descarte de equipamentos eletroeletrônicos que não atendem mais de forma satisfatória suas finalidades, ou se tornaram obsoletos. Pode-se citar como exemplos de lixo eletrônico: equipamentos eletrônicos, eletroeletrônicos e de informática avariados ou obsoletos; eletrodomésticos quebrados; pilhas e baterias gastas; lâmpadas fluorescentes queimadas ou quebradas.

A Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica (ABINEE) classifica os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) em quatro grupos, denominados linhas, e são apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 - Classificação dos equipamentos eletroeletrônicos

GRUPOS / LINHAS	EQUIPAMENTOS
Linha branca	refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar.
Linha marrom	monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras.

Linha verde	computadores <i>desktops</i> e <i>laptops</i> , acessórios de informática, <i>tablets</i> e telefones celulares.
Linha azul	batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras.

Fonte: adaptado de ABINEE (2017)

Ao fim de sua vida útil, esses produtos passam a ser considerados REEE. Do ponto de vista ambiental, esse lixo se configura em um grave problema, desde a sua produção até o seu descarte. Seu aumento é um dos mais sérios problemas de impacto ao ecossistema e sua prevenção é uma medida importante para o equilíbrio do meio ambiente, devendo ser aplicada em todos os estágios do ciclo de vida dos produtos (CARVALHO e XAVIER, 2014). Diante disso, e seguindo uma tendência de tratamento adequado para esses resíduos, são expostas a seguir as leis estaduais (Pernambuco) e municipais (Caruaru-PE).

O estado de Pernambuco possui duas leis destinadas aos resíduos sólidos. A primeira delas é a Lei nº 14.236/2010 que possibilitou o desenvolvimento do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), publicado em 2012, que teve como objetivo apresentar um amplo reconhecimento da situação dos resíduos sólidos no estado de Pernambuco e, a partir disso, desenvolver um conjunto de objetivos e estratégias para amparar a gestão dos resíduos sólidos no Estado (PERNAMBUCO, 2012). Destaca-se neste plano, o incentivo a criação de planos integrados de gestão de resíduos sólidos, no qual proporcionará uma potencialização dos serviços, recursos e infraestrutura para o tratamento adequado dos resíduos sólidos das mais variadas naturezas (PERNAMBUCO, 2012).

A segunda, Lei Nº 15.084, de 6 de setembro de 2013, dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de coletores de lixo eletrônico pelas empresas que comercializam pilhas, baterias e aparelhos eletrônicos de pequeno porte no Estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2013).

Atualmente, o município conta com a Lei nº 7.319/2017 que instituiu no município o Programa “RECICLA CARUARU” e com o Decreto nº 037, de 17 de maio de 2018 que dispõe acerca do Plano de Saneamento Básico Setorial para a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos do município de Caruaru e dá outras providências.

O programa instituído busca o desenvolvimento de atividades voltadas para a orientação e a prática da coleta seletiva de resíduos sólidos no município. No que tange os REEE, alguns dos objetivos do programa são: conscientização do consumidor de produtos eletrônicos e

tecnológicos sobre os riscos ambientais e a saúde pública; geração de benefícios sociais e econômicos a partir da reciclagem dos materiais reaproveitáveis; tratamento e/ou disposição final dos resíduos eletrônicos e tecnológicos comercializados e utilizados em Caruaru (CARUARU, 2017).

O Plano revisado foi publicado junto ao Decreto nº 037, e informa que os resíduos domiciliares são coletados sem que haja segregação na origem. Ou seja, pilhas, baterias, lâmpadas comuns, óleos lubrificantes e de uso culinário, pneus e embalagens de agrotóxicos, eletroeletrônicos e seus componentes são também coletados com o lixo doméstico (CARUARU, 2018).

2.1.1.1 Diretiva 2012/19/EU

A Diretiva 2012/19/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012 publicado no Jornal Oficial da UE define que os REEE's são os EEE's que constituem resíduos (quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer), incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte integrante do produto no momento em que este é descartado (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2012, p.6)

Essa Diretiva mais atual de 2012 teve algumas revisões desde sua versão inicial publicada em 2002. Sendo assim, por meio da Diretiva 2011/65/EU número 65, que atualiza a Diretiva sobre REEE (Directive 2002/96/EC), a Comunidade Europeia sugere que os EEE's sejam classificados em 11 categorias. Essa distribuição tende a facilitar a discriminação do potencial de risco de cada classe de produtos em função de especificidades como: vida útil, composição por tipo de materiais, porte do equipamento, entre outros requisitos para a categorização (EU, 2011).

Em 2012 houve uma nova revisão da Diretiva nº 96 de 2002 e uma nova versão foi publicada (2012/19/EU). Ela está dividida em 27 artigos e é dirigida à todos os Estados-Membros da União Europeia. Trata-se de uma legislação que contém as diretrizes e instrumentos detalhados e específicos referentes aos REEE's. Ela discute por exemplo, as responsabilidades, as concepções, a aplicação, coleta seletiva, transporte, taxas, tratamento dos resíduos, financiamentos e os diversos processos necessários para a eficiente gestão dos REEE's nos países membros.

O principal objetivo da Diretiva 2012/19/EU é prevenção de REEE e a redução da quantidade de e-lixo despejado em aterros, através da reutilização, reciclagem e outras formas

de valorização desses resíduos. A partir de sua publicação, todos os países membros da EU (União Europeia) foram ordenados a transpor as diretivas em regulações e leis federais (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2003).

De acordo com o princípio do poluidor pagador, o fabricante de EEE deve organizar e financiar a coleta dos seus REEE's do local onde se encontram para as plantas de tratamento devidamente autorizadas (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2003). Além disso, ainda segundo a Diretiva, o produtor é definido como fabricante, revendedor com “marca própria” ou importador. Portanto, os distribuidores de EEE's fabricados que ficam fora da UE também são afetados pela legislação.

Geraghty (2003) e Miguez (2012), comentam que os varejistas são afetados e também possuem obrigações perante a legislação. Quando estes vendem um produto novo, têm a responsabilidade de garantir que o comprador retorne o lixo equivalente de maneira convenientemente e livre de custo.

2.1.2 Gerenciamento de REEE

Em países em desenvolvimento, a gestão de REEE é agravada pelo rápido desenvolvimento e pela gestão tradicional imprópria desses resíduos (Deshmukh et al., 2002). Esses sistemas tradicionais de gestão de resíduos afetam não apenas o meio ambiente local e de saúde pública, mas também o meio ambiente nas áreas vizinhas (Murad e Siwar, 2007). Além disso, a eliminação inadequada é um perigo e pode trazer altos riscos para doenças infecciosas (Murad e Siwar, 2007).

Problemas com resíduos são complexos e agravados pelo aumento da população, rápida urbanização, crescimento industrial e mudanças nos padrões de consumo. Além disso, as grandes quantidades de resíduos gerados e a disponibilidade de terras a um custo baixo são outros fatores que suportam uma abordagem tradicional, que depende principalmente de aterros.

Após o crescimento econômico que abriu mobilidade social e taxas de consumo mais elevadas ao longo dos anos 2000, a geração de resíduos sólidos brasileiros per capita elevou-se a 1,06 kg por dia (ABRELPE, 2014). Além disso, entre os anos 2008 e 2014, a geração de resíduos sólidos urbanos totais saltou de 52,9 milhões de toneladas para cerca de 78,6 toneladas. De acordo com fontes oficiais (BRASIL, 2014), somente 20% dos municípios contam com serviços regulares de gestão de resíduos sólidos, e, apesar das melhorias para tentar ampliar o número de municípios com coleta seletiva, estatísticas registram uma diminuição na média

anual de 15kg / por pessoa para 11,3 kg / por pessoa em resíduos geridos de 2011 para 2012. Os dados mostram ainda que em todo o país, e considerando toda a massa de resíduos gerados, as estimativas calculam que apenas 3,1% do total de resíduos domésticos é adequadamente gerida e tratada (BRASIL, 2014).

Cerca de 680 mil toneladas/ano de REEE são gerados no Brasil, e estimativas baseadas no mercado de trabalho formal brasileiro indicam que menos de 1% dos resíduos eletrônicos produzidos têm um tratamento ambiental adequado (Caiado et al., 2017). Para superar este desafio é preciso elaborar planos de gestão integrada para os resíduos sólidos urbanos, integrando-se os aspectos econômicos, sociais, ambientais e contemplando-se todas as fases do fluxo que integram cada classe de resíduos, desde a sua geração, coleta, transporte e destinação final, levando-se em conta as alternativas de reutilização e reciclagem (Zlamparet et al., 2017).

2.1.2.1 Desafios e oportunidades sobre gerenciamento de REEE no Brasil

Existem no Brasil diferentes formas de disposição final de RSU, como lixões, aterros controlados e aterros sanitários. A forma mais antiga e mais utilizada é o lixão que, de acordo com o IBGE (2011), é a mais impactante ao meio ambiente e sociedade como um todo. Os aterros controlados também são considerados formas inadequadas de disposição final dos resíduos (ABRELPE, 2011).

A geração crescente de REEE nos últimos anos e a crescente conscientização do público sobre as questões ambientais têm colocado ênfase em processos de tratamento de REEE através da reciclagem (TAURINO et al., 2010). Um estudo sobre os requisitos de análise e de energia de fluxo de materiais no processo de recuperação de materiais de telefones celulares identificou que a energia necessária para recuperar cobre a partir de tais dispositivos é a metade da quantidade necessária de extração de cobre primário e semelhante ou maior do que a quantidade de energia necessária para a refinação metais preciosos (NAVAZO et al., 2014).

Dada a importância de reaproveitar materiais, o Brasil precisa de muitos passos para melhorar o gerenciamento e o aproveitamento. A realidade de uma parte importante dos municípios brasileiros é preocupante, considerando que 41,3% dos resíduos eletroeletrônicos municipais são enviados para aterros (ABRELPE, 2015).

Considerando os impactos negativos, pode-se observar a importância e a urgência da implementação de um sistema de gestão de REEE no Brasil, devendo ser uma proposta integrada de vários setores da sociedade (MORRIS E METTERNICHT, 2016; MANOMAIVIBOOL E HONG, 2014). A sensibilização da população para o descarte

adequado, e os benefícios sociais e ambientais dessa prática deve ser reconhecidos (KILIC et al., 2015), bem como o comportamento dos usuários em relação ao seu desejo de descartar adequadamente os resíduos (ECHEGARAY e HANSSTEIN, 2017; JANG e KIM, 2013).

Assim, o governo, por meio de linhas de financiamento, leis e regulamentos além de estruturas de gestão e educação pode motivar os diversos setores corresponsáveis para desenvolver políticas e estratégias (GU et al., 2016; YOSHIDA et al., 2016) que permitam descartes corretos. Estes instrumentos não são obstáculos intransponíveis, e estão incluídos desde 2010 na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

Após anos de discussões no Congresso Nacional, a PNRS representa um marco da consolidação de padrões de consumo e da produção em cooperação com a sustentabilidade ambiental (MMA, 2015). Dada a complexidade de se estabelecer um processo eficiente de coleta, desmonte, reciclagem, reutilização, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos, sua implementação é desafiadora (FERREIRA e VICENTE, 2011). Isso representa oportunidades para as organizações inovarem seus processos produtivos visando reduzir o consumo de matérias-primas, diminuir o volume de resíduos na fonte e reinseri-los na produção (INSTITUTO ETHOS, 2012).

No que tange a um dos principais objetivos da PNRS, denominado “a ordem de prioridade na GRS: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final adequada dos rejeitos”, a regulamentação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, endereça o Brasil a um modelo econômico industrial conhecido como “Economia Circular” (MENDES, 2015). Apesar da PNRS e outros regulamentos ambientais, mais de 3300 municípios ainda dispõe seus resíduos em locais irregulares no Brasil (ABRELPE, 2016).

A falta de informações a respeito da geração de REEE, fluxo e perspectivas tem conduzido estudos no Brasil. Echegaray e Hansstein (2017), afirmam que a população brasileira tem uma intenção positiva para a reciclagem de lixo eletrônico, mas que apenas uma minoria adota de fato práticas de reciclagem adequadas. A principal questão nesse aspecto foi relacionado ao sistema de coleta que não consegue reunir REEE em fim de vida e separá-los corretamente a partir de outros tipos de resíduos (OLIVEIRA et al., 2012).

Além disso, existe o problema da falta de tecnologia para reciclar componentes mais complexos tais como circuitos impressos placas e tubos de raios catódicos (GHISOLFI et al., 2017; OLIVEIRA, 2016). Outros problemas incluem a necessidade de educação ambiental, a urgência de envolvimento do produtor, a instalação de estações de coleta em canais de varejo

ou bairros, a criação de incentivos do governo, a adaptação de tecnologias que auxiliam no controle e no fluxo do lixo eletrônico e a implementação de procedimentos que auxiliam o governo na aplicação da PNRS (BOUZON et al., 2016; SOUZA et al., 2016; GUARNIERI et al., 2016). Dessa forma, esses estudos recentes demonstram a necessidade de pesquisa e-resíduos no Brasil. A falta de informação sobre o lixo eletrônico cria um cenário desfavorável para melhores práticas de gestão.

Os REEE são complexos devido à sua composição com a presença de substâncias perigosas e são gerados de forma difusa. Segundo Carvalho e Xavier (2014), na fase de coleta e reciclagem, o risco relaciona-se com o manuseio de equipamentos pesados, cortantes e infecciosos a partir de determinadas peças ou componentes.

Porém, apesar da periculosidade, apresentam possibilidade de valorização. Habitualmente, na ausência de sistemas de gestão no país, são predominantemente destinados ao setor informal de reciclagem. Para o estabelecimento de um processo de reciclagem industrial, é necessário um sistema de coleta eficiente, o qual se configura como um aspecto de difícil implantação, uma vez que sua eficiência depende da cooperação da população, indústria, distribuidores e governo (OLIVEIRA et al., 2012).

2.1.2.2 Sistemas de coleta de REEE

Quatro cenários são distinguidos por Baldé et al. (2017) relacionados à gestão de REEE que coexistem, em maior ou menor escala. O primeiro é o sistema formal de coleta e destinação, chamado de logística reversa, no qual os REEE são coletados por organizações designadas pelos produtores ou pelo governo e destinados a instalações que realizam o seu tratamento e a recuperação dos seus materiais de maneira ambientalmente adequada. Essa representa a solução ideal, que é pretendido pela legislação, reduz o impacto ambiental da gestão dos REEE e facilita a obtenção de dados referentes à coleta e reciclagem.

No segundo cenário, os consumidores descartam os REEE de modo indiferenciado, juntamente com os resíduos sólidos urbanos (RSU), por meio da coleta municipal regular. Há uma baixa probabilidade do e-lixo ser segregado do fluxo de RSU. Quase sempre são dispostos em aterro ou incinerados junto com os RSU. Não é o cenário ideal, pois desperdiça os materiais contidos nos REEE e pode impactar negativamente o ambiente, devido à liberação de substâncias perigosas contidas neles. O terceiro e o quarto cenário reporta-se ao gerenciamento dos REEE fora do sistema formal. No terceiro cenário, os REEE são coletados por indivíduos ou empresas e, depois, negociados por vários canais, tendo vários possíveis destinos. Por último

e não menos importante, no quarto cenário, os REEE são geralmente coletados por indivíduos ou entidades informais e, caso não apresentem potencial de reutilização, são reciclados de modo informal, podendo causar sérios danos ao ambiente e à saúde humana (BALDÉ et al., 2017).

Segundo Mazon (2012), a coleta informal realizada por catadores é uma atividade que gera sérios riscos à saúde e ao meio ambiente pois muitas vezes se caracteriza pela prática de queima de equipamentos eletroeletrônicos em locais abertos para recuperar metais tais como aço, cobre e alumínio dos fios, capacitores e outros componentes.

Dados da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2013), mostra que a coleta dos REEE costuma ser feita juntamente com outros tipos de resíduos por parte dos catadores de materiais recicláveis. Algumas pessoas, frequentemente, afirmam que não sabem dar a destinação adequada a esses tipos de resíduos. Isso demonstra a ausência de suporte à sociedade, com locais de coleta para os REEE e de uma estratégia eficiente de coleta.

2.2 Logística Reversa (LR)

Segundo Leite (2016), a logística reversa (LR) abrange, em seu significado mais amplo, todas as operações relativas ao reuso de produtos e materiais, envolvendo todas as atividades logísticas de coleta, desmonte e processamento de produtos e/ou materiais usados, almejando assegurar uma recuperação sustentável. Ainda segundo o autor, em termos práticos, a LR tem como objetivo principal atenuar a poluição do meio ambiente e reduzir os desperdícios de matérias-primas, através de ações voltadas a reutilização e reciclagem.

A LR fornece diferentes tipos de benefícios e é uma etapa importante no sistema de recuperação. No quesito meio ambiente, ela reduz a eliminação incorreta de REEE e o consumo de energia por meio de reciclagem. Os benefícios sociais desta logística estão relacionados com a geração de emprego formal, o aumento da conscientização da população com relação às questões ambientais e a diminuição em problemas de saúde causados pelo manuseio incorreto de REEE (ABDI, 2013).

Para se ter uma ideia, o retorno de REEE através de logística reversa contribui com até 18% do crescimento de material reciclado disponíveis no mercado, tais como plásticos, e reduz as emissões de CO₂. As médias potenciais de emissões poupadas por tonelada de alumínio, cobre, vidro reciclado e são 4,5, 4,7, e 0,32t de CO₂, respectivamente (ABDI, 2013).

Por outro lado, a logística reversa pode apresentar complexidades, como exemplo: (i) a qualidade não uniforme do produto recolhido, (ii) a pouca previsibilidade dos caminhos de recolha e rotinas, (iii) recolha de baixo volume, (iv) os custos de um processo sobre o qual

pouco se sabe, (v) a dificuldade de fazer planos, (vi) a visibilidade não é tão transparente do retorno, e (vii) os aspectos financeiros elevados (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1998).

Vários estudos avaliam o custo envolvido na logística reversa de REEE, que se encontra principalmente no funcionamento do sistema devido às longas distâncias entre os pontos de recolha e os destinos (YLA-MELLA et al., 2014; ABDI, 2013). Um estudo realizado na Turquia por Kilic et al. (2015), avaliou diferentes cenários, cada um dos quais com base em diferentes quantidades de REEE a serem recolhidos. Para cada cenário, os locais adequados, números e tipos de pontos de armazenamento e instalações de reciclagem foram determinados de modo a minimizar o custo total do sistema.

O estudo de Aquino e Silva (2019) utiliza um software Evolver 7.6 para resolver um modelo matemático que define a melhor localização para instalação de pontos de coleta de REEE, minimizando o custo do sistema logístico reverso com relação ao transporte, instalação, custo de oportunidade e distância entre os pontos e a demanda. Dois cenários foram estudados: no primeiro, dois veículos com pequena carga (100kg) devem realizar a coleta de 150kg de REEE em dois pontos, o que totalizou um custo de aproximadamente R\$ 1233,00. No segundo cenário, um veículo com maior capacidade disponível (200kg) deve efetuar a coleta de 300kg de REEE em quatro pontos, o que totalizou um custo de aproximadamente R\$ 8422,00. O interessante do estudo, além de expor os custos, é que o modelo proposto é capaz de mostrar onde cada ponto de coleta deve estar localizado e quais as quantidades estimadas a serem recolhidas nestes pontos. Por outro lado, o modelo considera como simplificação o fato de que toda a demanda deve depositar os resíduos nos pontos mais próximos, o que não é praticável na realidade.

Os altos custos para implementação e manutenção de LR de REEE, direcionados à infraestrutura necessária para coletar resíduos ao fim do ciclo de vida e para reciclar ou reutilizar este material, faz com que a indústria de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) adie os investimentos nesse sistema (JAYARAMAN e LUO, 2007).

É importante ressaltar que ao adotar a logística reversa, a organização também estará realizando uma grande contribuição sob o ponto de vista social. Pois, a cadeia produtiva reversa gera muitos empregos, seja por meio das associações e cooperativas de catadores ou ainda através das empresas recicladoras especializadas que atuam na segregação, pré-processamento e processamento dos materiais (XAVIER e CORRÊA, 2013).

Além disso, uma estrutura de LR deve ser capaz de fornecer as condições mínimas para motivar e promover ações ambientalmente adequados (YLA-MELLA et al., 2015). Neste

contexto, ao implementar a logística reversa, a consciência do consumidor e das instituições é essencial para o sucesso da cadeia logística (ECHEGARAY e HANSSTEIN, 2017).

2.2.1 Sustentabilidade e REEE

Para Veiga (2015), sustentabilidade é uma palavra adotada para conceituar ações e atividades humanas que pretendem suprir as demandas atuais dos indivíduos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. Barbieri (2011) conta que a maioria dos problemas ambientais existentes vêm em decorrência do uso desenfreado dos recursos naturais pelos seres humanos, extraíndo-os para a produção de bens e serviços e descartando o que não é mais utilizado em forma de poluição.

A busca pela sustentabilidade ambiental através do gerenciamento de resíduos sólidos se norteia com base em metodologias e processos integrados objetivando a redução dos resíduos gerados (CALDERONI, 2015). Nesse sentido, a reciclagem é importante, uma vez que os materiais poderão ser empregados como matéria-prima para a indústria, sendo reaproveitados e realocados em outras atividades (BÉRRIOS, 2009).

Dos diversos lixos produzidos no mundo, um dos mais preocupantes e que mais cresce na atualidade é o lixo eletrônico (IKHLAYEL, 2017), que tem chamado a atenção pelo volume e pela forma de contaminação do meio ambiente (LUO et al., 2011). Tornou-se necessária a busca por soluções que resolvam o problema de descarte inadequado desses materiais, buscando os destinos corretos que de acordo com Tansel (2017) devem possuir mecanismos e infraestrutura para a coleta e reciclagem em vista da sustentabilidade e qualidade do meio ambiente.

Os REEE, ao mesmo tempo em que possuem consequências socioambientais, podem gerar resultados econômicos com a reciclagem, por conterem quantidades substanciais de materiais valiosos, que normalmente fornecem o incentivo monetário para a reciclagem e incluem metais como o cobre, o ouro, a prata ou o paládio (BETTS, 2008).

Assim, o desenvolvimento de legislações sobre práticas eficientes e sustentáveis a respeito da coleta, reciclagem e transporte de REEE tornou-se muito importante no mundo todo (KUMAR et al., 2017). A busca pela sustentabilidade ambiental através do gerenciamento de resíduos sólidos se norteia com base em metodologias e processos integrados que tem por meta possibilitar a redução dos resíduos gerados (CALDERONI, 2015). Esse conceito no ambiente empresarial, surge o termo de *Triple Bottom Line*, que representa o tripé da sustentabilidade e

propõe o equilíbrio entre as três dimensões: Social, Ambiental e Econômica (USHIZIMA, 2014).

2.2.2 *Triple Bottom Line*

A sustentabilidade baseada em apenas um agente não é capaz de produzir uma imagem sustentável para as organizações. O *Triple Bottom Line*, (TBL) modelo de sustentabilidade proposto por Elkington (2012) é formado pelo tripé concebido com o objetivo principal de incorporar métricas relacionadas aos impactos gerados na sociedade, no meio ambiente e o desempenho econômico da organização. Para Pope, Annandale e Saunders (2004), o TBL pode ser considerado uma interpretação da sustentabilidade, que coloca o tripé em condições de igual importância na tomada de decisões.

O termo desenvolvimento sustentável motiva o crescimento não só no intuito econômico, mas que agregue a visão social e ambiental (Garcia et al, 2011; Merino et al., 2013). As organizações que almejem ser sustentáveis devem levantar uma série de questionamentos capazes de discriminar todas as interações que estejam ocorrendo entre a empresa e o meio ambiente (BARBIERI et al, 2010).

2.2.3 Responsabilidade Estendida do Produtor

À medida que a geração de resíduos por várias indústrias está aumentando rapidamente, muitos governos em todo o mundo obrigam o fabricante a implementar o princípio da *Extended Producer Responsibility* (EPR). De acordo com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), essa é uma abordagem política sob a qual os produtores recebem uma responsabilidade financeira e/ou física pelo tratamento ou descarte de produtos pós-consumo (OCDE, 2016).

A EPR é vista como uma maneira prática de introduzir o gerenciamento da cadeia de suprimentos ecológica e estendê-la às fases pós-consumo (SRIVASTAVA, 2007; GUPTA e HANDFIELD, 2011). Ela amplia o foco do gerenciamento de resíduos no final de vida para que se tenha uma melhor eficiência, com um impulso substancial à prevenção e reciclagem desses resíduos. A inovação verde também é esperada, pois a EPR fornece incentivos à pesquisa que visem a reciclagem, o desenvolvimento tecnológico e o design ecológico (Tojo, 2004).

A OCDE recomenda fortemente a EPR por sua eficácia em atingir metas de reciclagem inconcebíveis e promover mercados secundários eficientes (OCDE, 2001; OCDE, 2006). Dessa

forma, ela tornou-se um fator importante em políticas de gerenciamento de resíduos sólidos em todo o mundo.

É importante comentar que ao analisar a responsabilidade das empresas, é necessário ter cuidado para não atribuir toda a responsabilidade de impacto ambiental ao mercado produtivo, que é pautado pela lei da oferta e da procura, a qual defende a ideia da produção de acordo com o que o consumidor deseja. (NICHOLAS, 1995). Dessa forma, a responsabilidade que antes era atribuída somente às empresas, agora também pode ser dividida com o consumidor, que, com sua atitude mais ou menos conscientizada, poderá contribuir mais ou menos para a degradação do ambiente em que vive (FIGUEIREDO, 2005).

Contudo, o mercado produtivo não será controlado apenas pela atitude do consumidor, já que é improvável que o ele atinja um nível de conscientização necessário e suficiente para essa mudança, além dele não possuir todos os mecanismos para controlar a produção. Nesse caso, é necessário a intervenção do Estado para coibir atitudes abusivas das empresas, responsabilizando-as por esses abusos e pelos custos do valor do bem ambiental utilizado (DENIS e VETTORAZZI, 2011).

Isto posto, podemos concluir que a EPR é um princípio de proteção ambiental que tem por objetivo a diminuição do impacto ambiental que a produção pode causar, fazendo com que o fabricante assuma a responsabilidade por todo o ciclo de vida do produto e, especialmente para a retomada, reciclagem e disposição final do produto (LINDHQUIST, 2000).

2.3 Pesquisa Operacional (PO) no Gerenciamento de Sistemas de Coleta de REEE

O Apoio a Decisão Multicritério (MCDA) tem origem na pesquisa operacional, uma ciência desenvolvida no período da Segunda Guerra Mundial para lidar com a tomada de decisão, por interesse de pesquisadores matemáticos e estatísticos, para a estratégia militar (LYRIO et al., 2007). Desde o seu sucesso, estudos foram desenvolvidos para adequá-la ao ambiente decisório organizacional até o momento em que se fez necessário classificá-la em dois grandes tipos de pesquisas operacionais (PO): a PO Hard, que busca desenvolver modelos matemáticos que atinjam uma solução ótima; e a PO Soft, que se volta ao estudo da estruturação dos contextos decisórios, servindo como ferramenta de avaliação e apoio à decisão (ENSSLIN et al., 2010a; FRANCO e MONTIBELLER, 2010).

Dessa forma, os métodos de MCDA têm por objetivo auxiliar os decisores no processo de tomada de decisão diante de problemas complexos, cujas alternativas são avaliadas à luz de múltiplos critérios. Embora um determinado método não traga uma solução específica para o

problema, ele aponta qual a solução mais indicada para cada caso (HELMANN e MARÇAL, 2007).

Nos últimos anos, esses métodos tem sido utilizados em inúmeros problemas da Pesquisa Operacional que envolvem múltiplas opções para se avaliar, como: seleção de materiais (CHATTERJEE et al., 2011), escolha de sistema operacional de smartphones (ALVES e SOUZA, 2017), planos de internet de banda larga (RANGEL et al., 2011), escolha de melhor local de instalação ou expansão de uma organização (ATHAWALE e CHAKRABORTY; 2010), dentre outros.

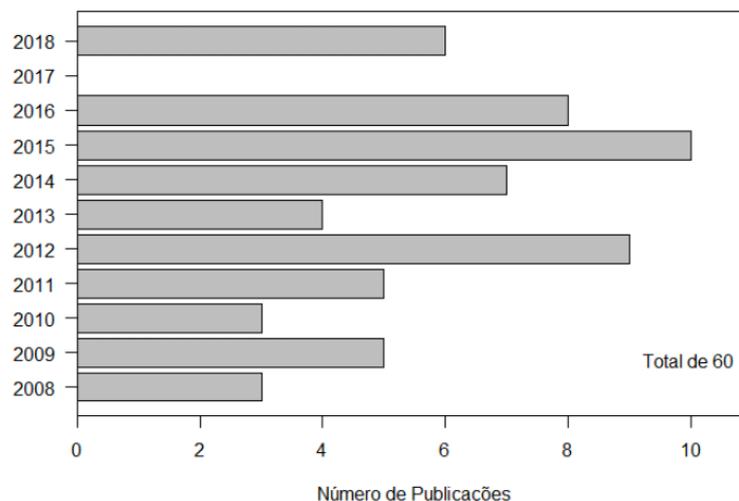
Embora o MCDA não seja amplamente utilizado para o gerenciamento de e-waste, é comumente utilizado para o gerenciamento de resíduos sólidos (KIDDEE et al., 2013) e gestão de resíduos perigosos. Acrescenta-se ainda que, a MCDA tem sido recomendada para a resposta social à gestão de resíduos eletrônicos (WILLIAMS, 2005), tornando-se uma ferramenta útil em combinação com outras ferramentas utilizadas para a gestão desses resíduos.

Pode-se considerar que o gerenciamento de resíduos é um processo que possui várias etapas, como: a geração, separação, armazenamento, coleta, transferência e transporte, processamento e recuperação, e a eliminação desse resíduo (RADA et al., 2010). Sendo assim, existe uma necessidade para o desdobramento de ferramentas que auxiliem no suporte a decisão buscando apoiar e melhorar a rede logística reversa desses resíduos (ACHILLAS et al., 2010).

Os diversos problemas relacionados com esse tipo de lixo têm sido estudados por autoridades em vários países, os quais estão tomando medidas para aliviá-los com a introdução de regulamentações e leis de gestão nos níveis nacional e universal (KIDDEE et al., 2013). Com isso, a necessidade de uma gestão adequada dos REEE tem sido muito discutida (ACHILLAS et al., 2010; DAVIS e GARB, 2015).

Nesse contexto, um levantamento feito por Silva et al. (2018), mostrou que as publicações envolvendo multicritério e REEE, no mundo, ainda são poucas. Isso chama atenção à necessidade de novas publicações na temática, que contribuirão para novos dados de pesquisa dentro do Brasil. A Figura 1 mostra o quantitativo de publicações entre os anos de 2008 e 2018, com ênfase para o ano de 2017, que não teve nenhuma publicação na área.

Figura 1 - Publicações envolvendo REEE e Multicritério de 2008 à 2018



Fonte: Silva et al. (2018)

A gestão de REEE envolve uma série de problemas de tomada de decisão que requerem a avaliação de várias alternativas considerando múltiplos critérios. O Quadro 3 apresenta uma lista de estudos que propõem modelos multicritério de apoio à gestão de resíduos eletroeletrônicos.

Quadro 3 - aplicações de MCDA em problemas de decisão relacionados à gestão de REEE

AUTORES	MÉTODO MCDA	ESCOPO
Rousis et al. (2008)	Promethee	Compara sistemas alternativos para a gestão de REEE em Chipre.
Chen e Hong (2008)	Método multicritério proposto pelos pesquisadores	Seleciona projetos de infraestrutura de logística reversa para materiais reciclados.
Hsu e Hu (2009)	Analytic network process (ANP)	Apresenta uma abordagem de processo de rede analítica (ANP) para incorporar a questão do gerenciamento de substâncias perigosas (HSM) na seleção de fornecedores e utiliza uma empresa de eletroeletrônicos como demonstração.
Kuo; Tien e Wang (2010)	analytic network process (ANP)	Através de uma revisão bibliográfica, os autores identificaram os principais indicadores utilizados para seleção de um “fornecedor verde”
Shih et al. (2012)	analytic network process ANP	Aplica o ANP para prever o volume de vendas de impressoras em Taiwan para ajustar a taxa de reciclagem e tratamento como um incentivo para as indústrias de reciclagem.

Zafeirakopoulos e Genevois (2015)	analytic network process ANP	Utiliza o ANP para selecionar o aspecto ambiental mais relevante para pequenas empresas que não tem capital e tempo para utilizar a Avaliação do Ciclo de Vida para apoiar os processos de tomada de decisão usados em <i>ecodesign</i> e produção sustentável.
--	------------------------------	---

Fonte: o autor (2020)

Associados a esses trabalhos, o Quadro 4 mostra os principais critérios estabelecidos nos trabalhos para o gerenciamento de REEE.

Quadro 4 - Critérios associados aos trabalhos apresentados

GRUPO DE CRITÉRIO	CRITÉRIO	AUTORES
Social	Harmonia da proposta com a legislação vigente de REEE	Rousis et al. (2008)
	Aceitação Social	
	Criação de emprego	
	Divulgação de informações	Kuo; Tien e Wang (2010)
Ambiental	Nível de impacto	Rousis et al. (2008)
	Emissão de Poluentes	
	Geração de Resíduos Líquidos	
	Geração de Resíduos Sólidos	
	Certificação ISSO 14001	Kuo; Tien e Wang (2010)
	Consumo de Água	Zafeirakopoulos e Genevois (2015)
	Consumo de combustíveis fósseis	
Econômico	Custo do investimento	Rousis et al. (2008)
	Custo de operação e manutenção	
	Retorno Financeiro	Chen e Hong (2008)
	Conformidade com os preços do setor	Kuo; Tien e Wang (2010)
Técnico	Qualidade do Sistema de gerenciamento	Hsu e Hu (2009); e Kuo; Tien e Wang (2010)
	Funcionalidade	Rousis et al. (2008)
	Experiência existente	
	Adaptabilidade as condições locais	
	Flexibilidade	
	Taxa de cumprimento de pedidos	Kuo; Tien e Wang (2010)
	Dificuldade técnica	Lima Junior et al. (2018)

Fonte: o autor (2020)

Esses critérios são habitualmente divididos em quatro categorias principais: social, ambiental, econômica e técnica. O que se nota, é que os critérios são ligados a problemática do gerenciamento de REEE de uma forma geral, e não são diretamente ligados à etapa de coleta. Dessa forma, eles serão adaptados neste trabalho para que tragam mais fluidez na interação e na proposição do modelo estruturado para problemas ligados à coleta de REEE.

Sabe-se que a tomada de decisão é um processo complexo e cotidiano, pois, estamos constantemente sendo confrontados com situações para escolher uma ou mais opções, dentre as diversas alternativas a partir de determinados critérios, com o intuito de encontrar a melhor alternativa diante das apresentadas (LOPEZ et al., 2015).

Como se pode ver, a quantidade de critérios associados à gestão de REEE é grande. Sabe-se que no processo de tomada de decisão é comum que os gestores tenham que comparar alternativas entre si e realizar uma escolha. Se a quantidade de alternativas for menor, o processo de tomada de decisão fica mais facilitado, caso contrário, problemas complexos e com vários critérios conflitantes, torna-se necessário o uso de métodos estruturados (TROJAN et al., 2012).

Para fundamentar o processo de decisão, a utilização de MCDA auxilia na busca de elementos que atendam a necessidade dos gestores. Os métodos de decisão multicritério apoiam o tomador de decisão na busca pela solução dos problemas, sendo que para resolvê-los são apresentadas múltiplas alternativas que precisam ser analisadas conjuntamente. Esses métodos têm por objetivo expor de forma estruturada a subjetividade das preferências do decisor na resolução do problema em questão (ROY, 1996; ALMEIDA, 2012).

Dessa forma, este trabalho vai utilizar um modelo multicritério flexível de ordenação que diminui o esforço cognitivo do decisor durante os *Tradeoffs* e não descarta no resultado final outras alternativas avaliadas que também poderiam ser aplicadas em conjunto na solução do problema em questão. No tópico seguinte, mais detalhes sobre o método e um levantamento sobre os trabalhos publicados serão apresentados.

2.3.1 *FITradeoff*

A fim de apoiar a aplicação desse método nessa temática de trabalho, um levantamento dos trabalhos publicados foi realizado e observou-se que não existe pesquisas publicadas usando o *FITradeoff* para auxiliar na resolução de problemas voltados ao gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos. O Quadro 5 mostra, em ordem crescente de ano de publicação, os

autores na primeira coluna e o tema de aplicação do *FITradeoff* na segunda coluna, respectivamente.

Quadro 5 - Trabalhos publicados com aplicação do FITradeoff

Autores	Tema de aplicação
De Almeida Filho et al. (2016)	Apresenta um novo método para obter pesos de critérios em modelos aditivos.
De Almeida Filho et al. (2017)	Obtenção de constantes de escala de modelo aditivo, a fim de suportar problemas de escolha, reduzindo o esforço do tomador de decisão.
Shukla (2017)	Avaliação e compreensão do comportamento da aderência do paciente.
Dell'ovo et al. (2017)	Localização de unidades de saúde.
Lima et al. (2017)	Escolha de um Gerenciamento de Processos de Negócios.
De Almeida e Roselli (2017)	Explora as avaliações do <i>FITradeoff</i> com Neurociência Cognitiva.
Frej et al. (2017)	Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos.
Aidar et al. (2017)	Estudo de localização de uma empresa de serviços.
Silva e (2017)	Estudo sobre reutilização ou compra de novas embalagens para o processo produtivo de uma empresa do ramo de metalurgia e siderurgia.
Frej et al. (2017)	Metodologia para resolver problemas de decisão multicritério no contexto da problemática de ordenação.
Perguer et al. (2017)	Seleciona regras de controle de carga de trabalho em ambientes de produção sob encomenda.
Roselli et al. (2017)	Apresenta a neurociência em decisão como fonte de melhoria para a modelagem de preferências para o método <i>FITradeoff</i> .
De Almeida e Kang (2017)	Apresenta um método <i>fitradeoff</i> para problemática de classificação.
De Almeida e Silva (2017)	Seleção de fornecedores na cadeia de suprimentos de uma empresa do setor avícola.
Botelho et al. (2017)	Problema de escolha de um obuseiro para utilização pelo Batalhão de Artilharia de Fuzileiros Navais.
Vieira e Ferreira (2017)	Alocação de recursos de capital em instituição pública de ensino técnico.
Da Silva et al. (2017)	Análise de investimentos.
Rodriguez et al. (2017)	Seleção de fornecedores de equipamentos em empresa de pesquisa agropecuária.
De Gusmão et al (2017)	Avaliação de alternativas de tecnologia e sistemas de informação em uma indústria alimentícia.
Kang et al. (2018)	Tomada de decisão multicritério no contexto do planejamento energético.
De Macedo et al. (2018)	Problema de substituição de motores em uma indústria química.
Andrade et al. (2018)	Análise de riscos da Polícia Federal para o planejamento e assessoramento ao processo decisório.

Lima et al. (2018)	Seleção de fornecedores na cadeia produtiva de leite.
Andrade et al. (2018)	Priorização de projetos <i>World Class Manufacturing</i> (WCM) em uma empresa de peças automotivas.
Cabral et al. (2018)	Orientar clube na contratação de futebolistas.
Pessôa et al. (2018)	Comparação entre impactos de política de decisão no âmbito da Marinha do Brasil.
De Almeida et al. (2018)	Seleção de serviço de eficiência energética em indústrias de alimentos do oeste do Paraná.
Souza et al. (2018)	Contratação de jogadores de futebol em dois clubes.
Longhi et al. (2018)	Melhoria do desempenho operacional de uma empresa de equipamentos rodoviários.
Barbosa et al. (2018)	Escolha de localização de um centro comunitário na cidade do Recife.
De Andrade et al. (2018)	Análise de riscos estratégicos da Polícia Federal.
Bezerra e Rosenbluth (2018)	Escolha de sistema automatizado de identificação biométrica para polícia federal.
Vieira et al. (2018)	Problema de seleção de fornecedores confecção de têxteis
De Moura e Ferreira (2018)	Priorização de ordens de serviços de manutenção de uma indústria de fabricação de filmes especiais de poliéster.
Monte e Morais (2018)	Soluciona problemas no abastecimento de água em Olinda-PE
De Macedo et al. (2018)	Estudo do problema de substituição do motores em indústrias, de forma a atender aos padrões mínimos de desempenho energético.
Fontana et al. (2018)	Busca resolver o problema da atribuição de locais em armazém em sistemas picker-to-parts.
Frej et al. (2019)	Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos.
Roselli et al. (2019)	Experimento de neurociência usando rastreamento ocular.
Da Silva Monte e Morais (2019)	Identificar e resolver problemas em um sistema de abastecimento de água urbano.
Palha (2019)	Processo de compras na indústria da construção.
Silva et al. (2019)	Atacar as maiores perdas e desperdícios em um ambiente de manufatura para alcançar a excelência nos processos.
E Silva et al. (2019)	Seleção de uma área específica para localizar uma nova Delegacia de Polícia Militar do Estado (SMPS) no Estado de Pernambuco.
Roselli et al. (2019)	Avalia as filiais de uma organização do ramo hortifrutigranjeiro localizada na cidade do Rio de Janeiro-RJ.
Da Cunha et al. (2019)	Ordenação das operações policiais especiais da Polícia Federal.
Mendes et al. (2019)	Procura comprovar a eficiência do método FITradeoff através de um estudo extensivo do método.
Pegetti et al. (2019)	Seleção de fornecedores para o serviço de limpeza e conservação.
Medeiros e Alencar (2019)	Seleção de subcontratados na construção civil.

Casado et al. (2019)	Priorização de fornecedores no setor de confecção.
Lacerda et al. (2019)	Seleção de um local para a expansão da rede de distribuição de gás natural.
Camilo et al. (2020)	Aplicação na área de saúde.

Fonte: o autor (2020)

Foram identificados 17 artigos na plataforma *Web of Sciences*, outros 10 nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e 24 nos anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), totalizando 51 trabalhos publicados entre os anos de 2016 e 2020. É importante ressaltar que não haviam publicações em anos anteriores a 2016, visto que é um método recente.

Como se observa no levantamento, os trabalhos trazem aplicações do FITradeoff em diversas problemáticas, como: seleção de fornecedores, aplicações em áreas de saúde, análise de investimentos, problemas na indústria têxtil e de construção, entre outros. Porém, não existem trabalhos que apoiem o processo de decisão envolvendo o método e REEE ou até mesmo Resíduos Sólidos. Dessa forma, este trabalho preencherá essa lacuna existente.

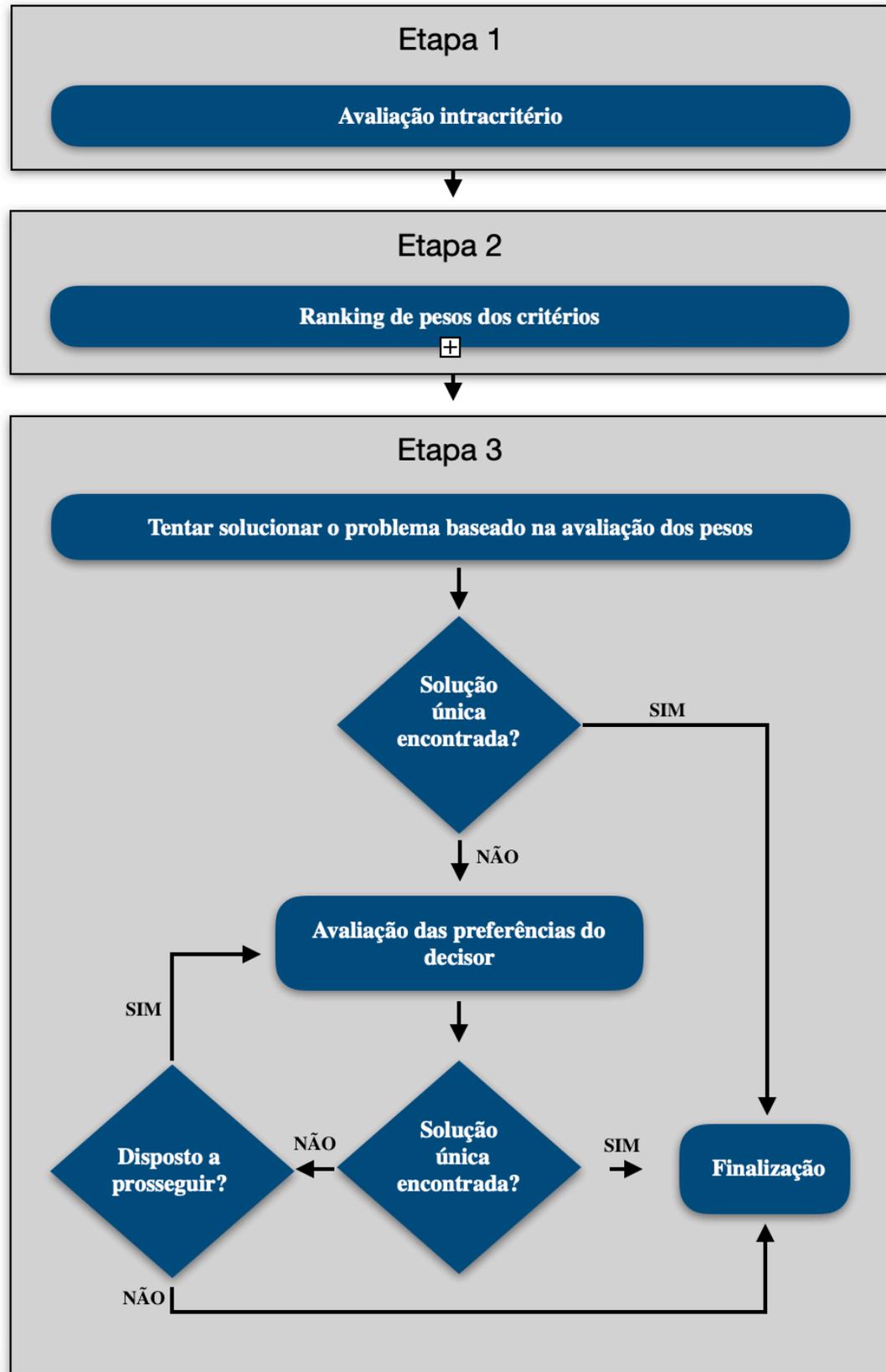
Como se sabe, o processo de tomada de decisão tem algumas dificuldades inerentes, como a indisponibilidade de informações precisas e a elicitação de pesos razoáveis. Isso se dá pelo fato dos decisores não possuírem informações suficientes ou a capacidade de diferenciação necessária, o que pode dificultar esse processo (DANIELSON e EKENBERG, 2016). A partir dessas dificuldades percebidas na literatura com relação a elicitação dos pesos, De Almeida et al. (2016) desenvolveram o método de elicitação interativo e flexível, denominado de FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*), que consiste na elicitação de preferências baseado no procedimento de *tradeoff*.

Esse método trabalha com a comparação de consequências baseadas em preferências e não em indiferenças, como tradicionalmente se vê no *tradeoff* (KEENEY e RAIFFA, 1976). Segundo Almeida (2012), o *tradeoff* é caracterizado por possuir uma estrutura axiomática complexa e que leva a maiores inconsistências. Ademais, trata-se de um procedimento que requer um grande esforço cognitivo do decisor, principalmente quando se exige a indicação de um valor exato para um critério, o que causa indiferença entre duas consequências. Por esse motivo e pela sua base axiomática forte, estudos têm mostrado que podem ocorrer inconsistências nos resultados (WEBER e BORCHERDING, 1993).

Felizmente, o *FITradeoff* apresenta uma maneira diferente de lidar com as inconsistências e limitações presentes no *tradeoff* (KEENEY e RAIFFA, 1976; BELTON e STEWART, 2002). Ao invés de definir valores exatos para os pesos, são designados intervalos de valores possíveis, que definem a escolha de uma solução por meio de diversos problemas de programação linear que verificam o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas (DE ALMEIDA et al., 2016). Por esse motivo, o um método que se mostrou eficaz no apoio à resolução de problemas de decisão em diferentes contextos (GUSMÃO e MEDEIROS, 2016; FREJ et al, 2017).

De acordo com Almeida et al. (2016), o *FITradeoff* apresenta três etapas: avaliação intracritério; ordenação dos pesos dos critérios; e tentativa de resolver o problema baseado no espaço de pesos disponível. A Figura 2 ilustra o processo de elicitação do FITradeoff.

Figura 2 - Processo de elicitação do FITradeoff



Fonte: Adaptado de De Almeida et al. (2016)

As duas primeiras etapas são semelhantes ao procedimento de *tradeoff* tradicional, ou seja, inicialmente o decisor precisa definir seus objetivos e como eles serão mensurados. Os critérios precisam ser descritos em termos de função valor, uma vez que estamos supondo uma situação determinística em termos das consequências das alternativas (KEENEY e RAIFFA, 1976). Cada critério i tem sua função valor v_i definida em uma escala de 0 a 1 para representar suas consequências, respectivamente, de pior a melhor. São utilizadas escalas locais de avaliação, cujos limites são definidos pelos menores e maiores níveis das consequências estabelecidas para cada critério (de Almeida et al. 2015).

A função valor multiatributo pode ser descrita como na Equação 1, a qual é o modelo aditivo que agrega as funções valor v_i em relação às consequências das alternativas x para todo o conjunto de atributos $i = 1, 2, \dots, n$ e k_i representa as constantes de escala dos atributos normalizados que devem somar 1 ($\sum k_i = 1$) (de Almeida et al. 2015).

$$v(x) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_i) \quad \text{Equação 1}$$

Além disso, define-se também o conjunto de alternativas e a matriz de decisão que apresenta o desempenho das alternativas em relação a cada critério (KEENEY e RAIFFA, 1976). A terceira e última etapa é considerada a principal parte do método. Nela, deve-se observar se uma única solução ótima foi encontrada. Caso contrário, o processo iterativo em quatro etapas é então iniciado com o decisor, que consiste em: definir valores para testar a distribuição de pesos; questionar o decisor com relação as suas preferências; resolver o Problema de Programação Linear; e, finalização. O intuito de se utilizar essa heurística é definir o valor das constantes de escala, mas de uma maneira que minimize a quantidade de questionamentos ao decisor (Almeida et al., 2016).

A cada iteração, o método resolve o problema de programação linear, o qual tem como função objetivo a própria função valor multiatributo (Equação 1) e que por sua vez deve ter seu valor maximizado. Os dados de entrada para a primeira iteração é o ranking completo de alternativas, ou seja, $k_1 > k_2 > \dots > k_n$, sendo $k_n \geq 0 \forall i$. Ao longo do processo, o decisor vai respondendo mais questões, de forma que o espaço de pesos vai sendo reduzido. E a partir das declarações de preferência estrita por parte do decisor e considerando que o valor das consequências é dado pela função de agregação aditiva das equações 2 e 3, as seguintes relações podem ser obtidas para qualquer critério i :

$$k_i v_i x_i' > k_{i+1} \quad \text{Equação 2}$$

$$k_i v_i x_i'' < k_{i+1}$$

Equação 3

A partir destas inequações, o espaço de pesos é buscado a partir da equação 3:

$$\varphi_n = \left\{ \begin{array}{l} (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n | \sum_{i=1}^n k_i = 1; k_i \geq 0) \\ k_1 v_1(x''_1) < k_2 < k_1 v_1(x'_1); \dots; \\ k_i v_1(x''_i) < k_{i+1} < k_i v_1(x'_i); \dots; \\ k_{n-1} v_1(x''_{n-1}) < k_n < k_{n-1} v_1(x'_{n-1}) \end{array} \right\}$$

Equação 4

A cada questão respondida pelo decisor, o modelo irá calcular o desempenho das alternativas no espaço de pesos fornecido pela equação 4, essas alternativas possuem três classificações diferentes que são apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Classificação das alternativas

Classificação da Alternativa	Descrição
Potencialmente Ótima	É aquela cujo valor dado pela equação 1, é maior ou igual ao valor de qualquer outra alternativa de todo o conjunto de alternativas, para pelo menos um vetor de pesos (DE ALMEIDA et al. 2016).
Dominada	É aquela que o valor indicado na equação 1, será menor que o valor de pelo menos uma das alternativas do subconjunto de alternativas potencialmente ideais, qualquer que seja o vetor de pesos. Dessa forma, é aquela que não é potencialmente ótima (DE ALMEIDA et al. 2016).
Ótima	Seu valor na equação 1 é maior que o valor de qualquer outra alternativa de todo o conjunto de alternativas, seja qual for o vetor de pesos em todo o espaço de pesos (DE ALMEIDA et al. 2016).

Fonte: o autor (2020)

Enquanto houver mais de uma alternativa potencialmente ótima, o processo de elicitacão continua a fazer as perguntas ao decisor. Assim, o modelo vai solicitando à ele novas relações de preferência até que se encontre uma solução única, ou seja, uma situação em que a alternativa ideal seja encontrada. No processo operacional, a solução é encontrada quando o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas possui apenas um elemento (de ALMEIDA et. al, 2016). Para isso, a seguinte equação 5 é aplicada para cada alternativa j :

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n k_i v_i \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Sujeito à,

$$\sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}) \geq \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{iz}) \quad z = 1, 2, \dots, m. \text{ e } z \neq j$$

$$k_{i+1} \leq k_i v_i(x'_i) - \varepsilon \quad \text{para } i = 1 \text{ até } n - 1$$

Equação 5

$$k_{i+1} \geq k_i v_i(x''_i) + \varepsilon \quad \text{para } i = 1 \text{ até } n - 1$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad \text{com } k_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$$

É importante citar a existência de um software desenvolvido por Almeida-Filho et al. (2017), criado para apoiar esse processo do FITradeoff, o qual resolve os problemas de programação linear de cada iteração, calcula o desempenho global das alternativas, indica se o decisor está apresentando inconsistência em seus julgamentos e ainda possui diferentes heurísticas para solução do problema, sendo definida de forma a reduzir o número de questões respondidas pelo decisor. Portanto, o uso do método *FITradeoff* permite um processo decisório mais transparente e efetivo (ALMEIDA-FILHO et al., 2017).

2.3.1.1 FITradeoff para ordenação

O método FITradeoff é direcionado para a solução de problemas de seleção. Porém, Frej et al. (2017) apresentam uma versão capaz de resolver problemas de ordenação, de modo que, as alternativas são classificadas resultando em um ranking. Ademais, Frej et al. (2017) destacam que a diferença significativa entre o FITradeoff de seleção e o de ordenação está na modelagem da programação linear. Enquanto o método para seleção o modelo de programação linear avalia as potenciais alternativas ótimas considerando o atual espaço de pesos, no método de ordenação a avaliação das potenciais alternativas ótimas é substituída pela verificação de relações de dominância par a par entre as alternativas (FREJ et al., 2017).

A verificação das relações de dominância se dá através da modificação da função objetivo do modelo de programação linear do FITradeoff, que agora se dá pela equação 6, e as restrições do PPL são os limites superiores e inferiores das constantes de escala, que caracterizam o espaço de pesos, assim como no problema de escolha (DE ALMEIDA et al., 2016).

$$\text{Max } D(A_i, A_k) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(A_i) - \sum_{j=1}^m k_j v_j(A_k)$$

Equação 3

Dessa maneira, as relações de dominância são assim definidas:

- caso a máxima diferença entre os valores globais de A_i e A_k seja menor que 0, A_k domina A_i ;
- caso a máxima diferença entre A_i e A_k seja maior do que zero, e entre A_k e A_i também seja maior do que zero, A_i e A_k são incomparáveis;
- caso a máxima diferença entre A_i e A_k e entre A_k e A_i seja menor do que um determinado limiar de equivalência ε previamente definido pelo decisor, A_i e A_k são indiferentes.

Conforme o decisor vai fornecendo mais informações ao longo do processo, o espaço de pesos é atualizado e novas relações de dominância vão sendo encontradas, pois o espaço de pesos vai se estreitando, de forma que o ranking fica cada vez mais completo. O processo termina quando um ranking completo das alternativas é encontrado, ou quando o decisor não está mais disposto a continuar o processo de elicitação, seja porque a ordem parcial obtida já é suficiente para ele, ou porque ele não tem mais informações para fornecer.

De acordo com Roy (1996), a problemática de ordenação ajuda a alocar as alternativas em ordem crescente de preferencia, determinando uma ordem baseada em um modelo de preferências. Como resultado, é sugerida uma ordem, completa ou parcial, formando classes que contêm alternativas consideradas equivalentes (ROY, 1996).

3 ESTADO DA ARTE SOBRE GERENCIAMENTO DE SISTEMAS DE COLETA DE REEE

O processo de pesquisa científica se inicia com um problema, pergunta ou dúvida, que motiva os pesquisadores a procurarem informações sobre um determinado tema em bibliotecas e bases bibliográficas digitais (TASCA et al., 2010). Levando isso em consideração, uma revisão bibliométrica foi realizada buscando analisar o Estado da Arte sobre a temática do gerenciamento de sistemas de coleta de REEE, com resultados analisados através do pacote R Bibliometrix, disponível em <http://www.bibliometrix.org> (ARIA e CUCCURULLO 2017).

Bergera e Bakerb (2014), Rehn e Kronman (2014), Reuters (2008) e Glanzel (2003), apontam que a pesquisa bibliométrica serve como um instrumento de pesquisa para diversos segmentos de estudo, devido à base de coletas e informações que constam nos estudos que se propõem a essa finalidade. Ademais, o conhecimento sobre a área em questão pode se tornar mais avançado, identificando os principais conteúdos conceituais que funcionam como um caminho para o desenvolvimento de novas teorias, novos escopos de investigação, além da geração de indicadores de quantidade e desempenho de pesquisas (MACHI e MCEVOY, 2016; REHN e KRONMAN, 2014; MEREDITH, 1993).

Pao (1992) observa que os portfólios de artigos podem ser estudados em termos estatísticos. Dentre os parâmetros que podem ser abordados, estão: periódicos, relevância dos artigos, autores de destaque, países com mais publicações, dentre outros. É dentro desta perspectiva que se insere a análise bibliométrica a ser realizada nesta pesquisa.

Finalmente, nessa revisão da literatura e análise bibliométrica foram utilizadas as palavras-chave “*collection system*” AND “*e-waste management*” (sistemas de coleta e gerenciamento de REEE). Essas palavras-chave foram usadas para pesquisa na plataforma *Web of Science* (WoS), que de acordo com Jacso (2005) é uma das maiores bases de dados multidisciplinares. Contém mais de 12.000 periódicos, cerca de 150.000 anais de conferências e mais de 275.000 livros e capítulos de livros em diversas áreas, sendo o periódico mais citados e de mais alto impacto no campo de pesquisa (THOMSON REUTERS, 2017a).

Com uma opção de pesquisa considerando o período de 2009 à 2019, encontraram-se 107 trabalhos disponíveis, sendo que desses, 5 foram excluídos devido à falta de alinhamento com os critérios de inclusão desta pesquisa. O Quadro 7 mostra os critérios de inclusão e de exclusão adotados na seleção dos trabalhos.

Quadro 7 – Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhos que tratam de assuntos relacionados a sistemas de coleta de REEE e/ou gerenciamento de REEE; • Trabalhos que tenha abordagem qualitativa e/ou quantitativa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhos que, apesar de serem reconhecidos com o descrito durante as buscas, não apresentam relação direta com REEE; • Trabalhos que abordam resíduos perigosos de maneira genérica.

Fonte: o autor (2020)

Depois de revisados a partir de seus resumos (*abstract*), 101 trabalhos foram considerados úteis, pois traziam em suas temáticas assuntos voltados para sistemas de coleta de REEE e/ou gerenciamento de REEE, com abordagens qualitativas ou quantitativas. No Quadro 8 é possível ver a classificação da quantidade de trabalhos de acordo com o tipo de documento, que ficaram distribuídos da seguinte maneira: dos 101 trabalhos, 76 são classificados como artigos, 18 como artigos publicados em anais de eventos e 7 são revisões da literatura.

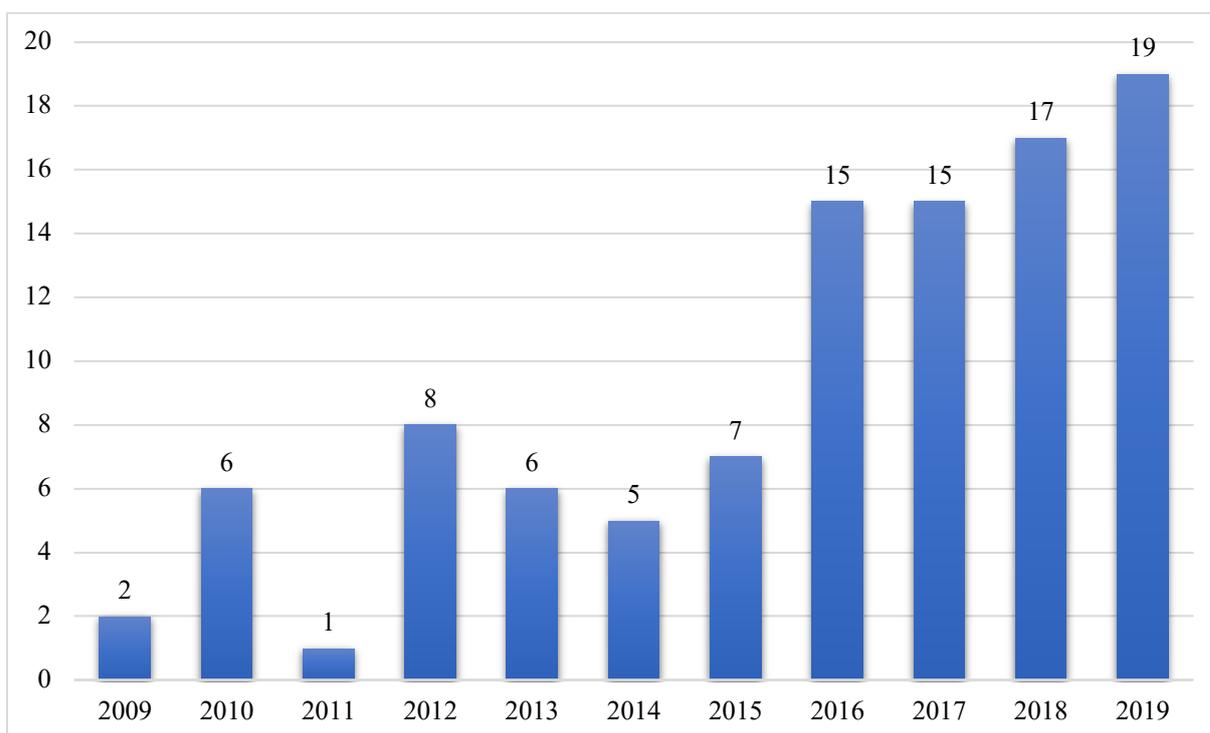
Quadro 8 - Quantidade de trabalhos por tipo de documento

Tipo de Documento	Quantidade
Artigo	76
Artigos publicados em anais de evento	18
Revisões da literatura	7
Total	101

Fonte: o autor (2020)

A distribuição anual do número de artigos publicados de 2009 a 2019 é mostrada no Gráfico 1. Observa-se que a maioria dos artigos foram selecionados nos últimos anos. Foram publicados 28 artigos de 101 entre os anos de 2009 e 2014, enquanto o restante dos artigos (73) foram publicados a partir do ano de 2015 até 2019. Também é possível notar que a partir de 2014 o número de publicações foram crescentes, com um aumento considerável de 2015 para 2016, onde o número saltou de 7 para 15, respectivamente. Na continuidade do crescimento, 2019 teve 19 publicações, onde se alcançou o maior número de artigos em um ano.

Gráfico 1 - Número de publicações por ano



Fonte: o autor (2020)

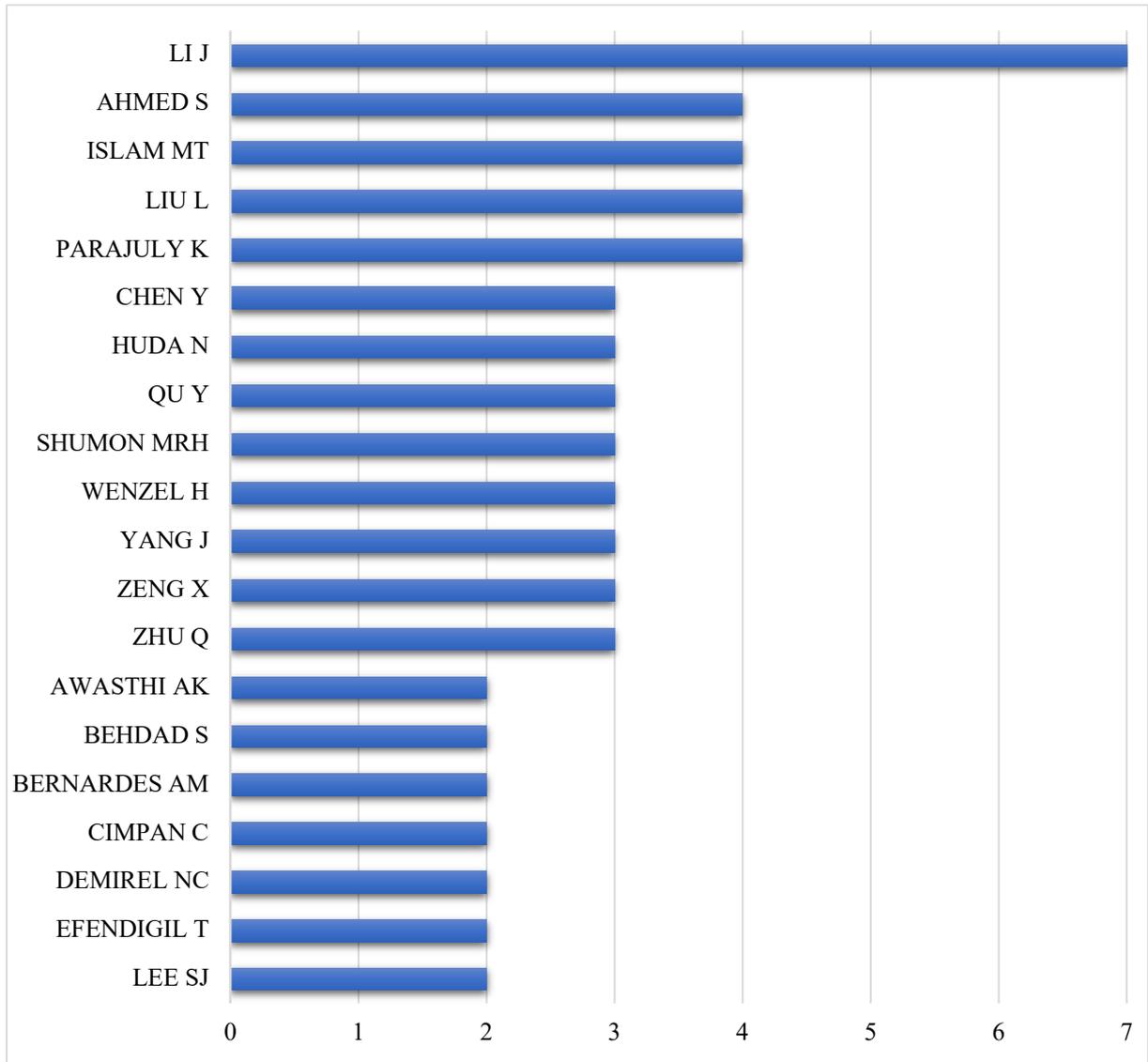
No Gráfico 2, estão listados os autores mais relevantes e seus respectivos números de publicações. Destacam-se na lista Li Jinhui com sete publicações; Ahmed Shameem, Islam MT, Liu L e Parajuly K com quatro publicações cada um. Os artigos de Li Jinhui comentam sobre a comparação do gerenciamento de REEE entre países em desenvolvimento e desenvolvidos, sobre o esquema de recolha e reciclagem de REEE em determinados países da Ásia e também avaliações sobre o gerenciamento desses resíduos a partir de políticas públicas.

Ahmed Shameem propõe trabalhos com temáticas envolvendo: modelo com vários critérios para a seleção de um sistema de coleta de REEE; e assuntos envolvendo gerenciamento sustentável de REEE, comentando cenários atuais e perspectivas futuras.

Islam MT se destaca com trabalhos que discutem o entendimento, conhecimento público, a conscientização e a atitude de pagar pela gestão de REEE. Também busca compreender, no âmbito do cidadão, seu o nível de conscientização, conhecimento sobre REEE, as razões do descarte e método de descarte. Seus trabalhos fornecem uma base de conhecimento científico que busca promover uma agenda de políticas, avaliando a tendência de gerenciamento de REEE entre as famílias.

O autor também tem publicações em formato de revisão sistemática da literatura, na qual apresenta as aplicações recentes, tendências, características, lacunas de pesquisa e desafios do método de Análise de Fluxo de Material (AFM) que podem ajudar o gerenciamento de lixo eletrônico com uma visão geral da necessidade de aplicação da ferramenta.

Gráfico 2 - Autores mais relevantes e seus respectivos números de publicações

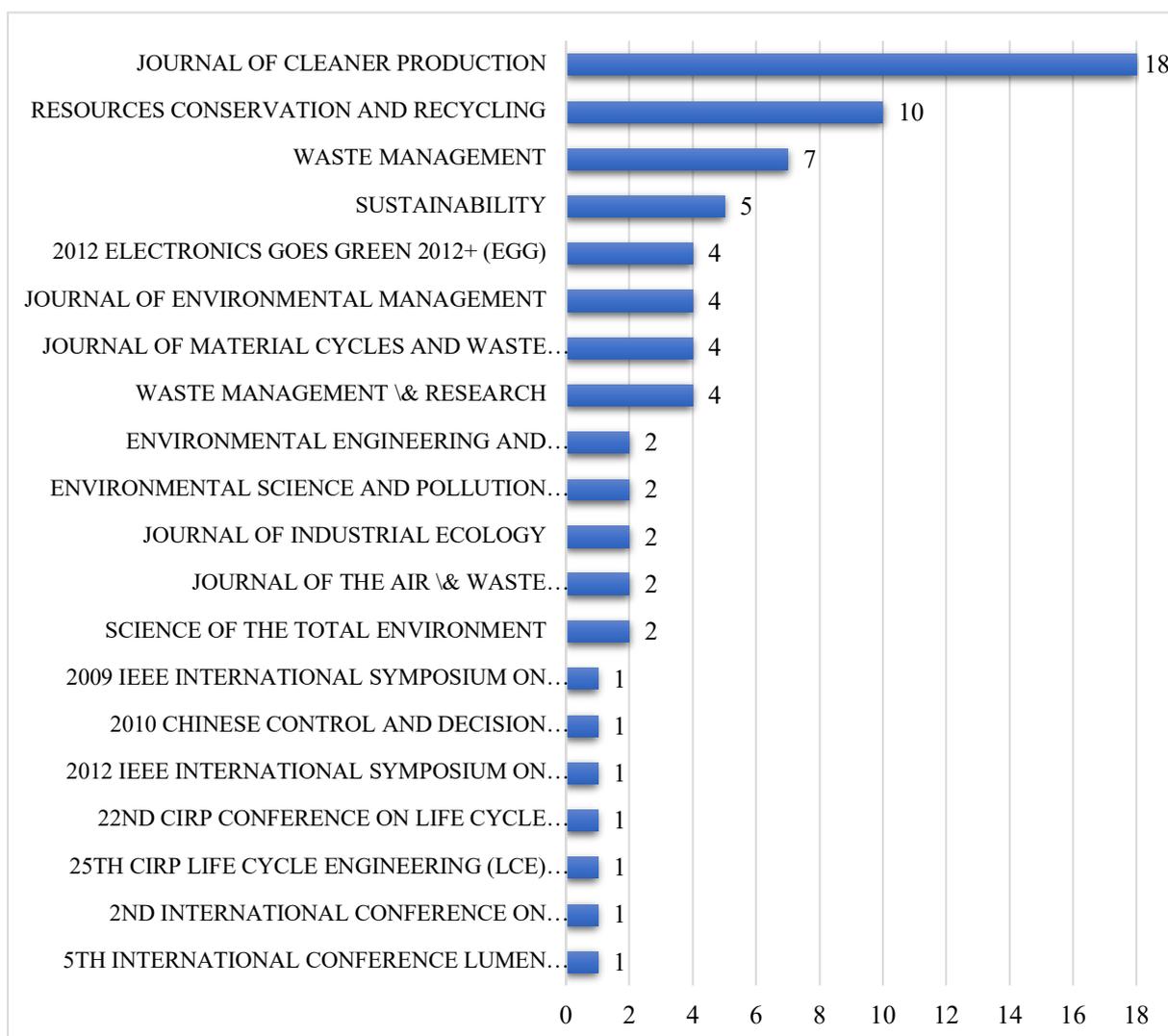


Fonte: o autor (2020)

Os jornais, revistas e conferências com mais publicações estão expostos no Gráfico 3. Verifica-se que a maioria dos artigos foram publicados no *Journal of Cleaner Production*, que lidera o ranking com 18 publicações, seguido do *Resources Conservation And Recycling* com 10 publicações. Esses dois periódicos somam aproximadamente 28% das incidências. Outros

periódicos renomados possuem números menores, como o *Journal of Environmental Management*, *Waste Management*, *Minerals Engineering* e *Environment International*, com 7 publicações ou menos.

Gráfico 3 – Jornais, revistas e conferências com mais publicações



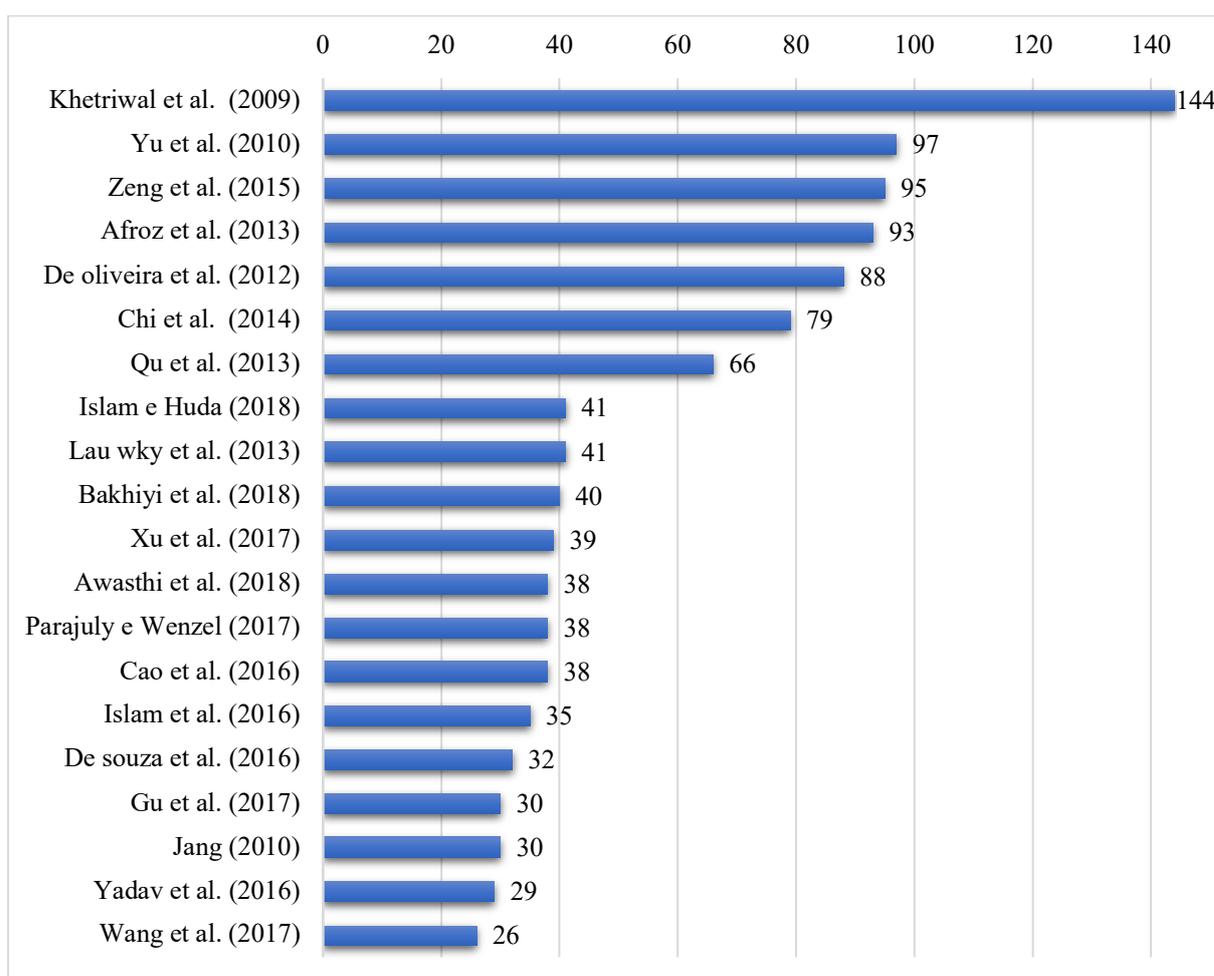
Fonte: o autor (2020)

Já a relação dos artigos mais citados é mostrada no Gráfico 4. Nele pode-se observar que o artigo de KHETRIWAL et al. (2009) foi o mais citado. Esse trabalho apresenta a aplicabilidade da EPR na área de gerenciamento de fim de vida útil de equipamentos eletrônicos e elétricos (EEE). Examina a experiência de uma década da Suíça no uso da EPR para gerenciar seu lixo eletrônico, elaborando a experiência do sistema suíço na superação de questões específicas e finalmente enfocando a sinopse das lições para os formuladores de políticas. As

cinco questões discutidas foram: (i) os desafios para iniciar um sistema baseado em EPR; (ii) Garantir financiamento para garantir um sistema autossustentável e de bom funcionamento; (iii) organização de uma rede logística para a retirada e coleta do lixo eletrônico; (iv) garantir o cumprimento dos vários atores envolvidos; e finalmente (v) reduzir a ameaça de práticas monopolísticas. Como se vê, o artigo traz muitas discussões globais e interessantes na área de gerenciamento de REEE, o que o torna um dos mais citados.

Ainda no Gráfico 4, temos o segundo artigo mais citado por autoria de Yu et al. (2010). Esse trabalho analisa a estrutura existente para gerenciamento de lixo eletrônico na China, incluindo políticas regulatórias e projetos piloto que foram estabelecidos com a intenção de testar novos sistemas formais para substituir a reciclagem informal. Porém, esses projetos geralmente falham na coleta de lixo eletrônico suficiente, principalmente porque os recicladores informais pagam aos consumidores pelo lixo eletrônico e os projetos piloto não.

Gráfico 4 - Artigos mais citados

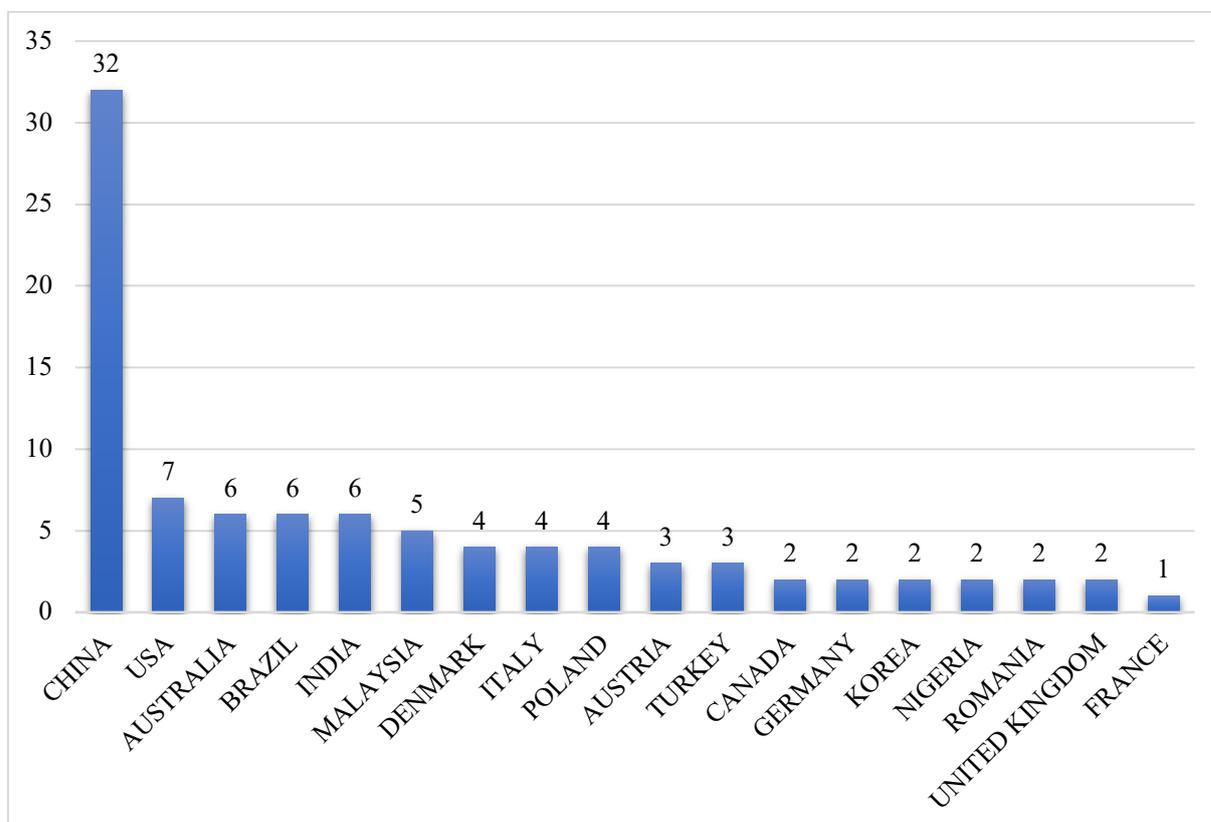


Fonte: o autor (2020)

A partir daí, os autores analisaram os desafios para a implementação de sistemas de reutilização/reciclagem de lixo eletrônico, específicos da situação chinesa, e propuseram duas abordagens políticas alternativas para lidar com esses desafios. A primeira é um sistema que compartilha responsabilidade financeira entre consumidores, fabricantes e governo e a segunda proposta é incluir um canal de lixo eletrônico que combine setores informais e formais, com o setor informal responsável pela coleta e reutilização e o setor formal responsável pelo desmantelamento e reciclagem. Devido a sua aplicação em um país que é líder de importação de REEE e de exportação de EEE, este artigo tem grande relevância e é muito citado.

Como mostrado nos comentários do gráfico anterior, a China é o país que mais importa REEE e exporta EEE. Sendo assim, o país precisa gerenciar adequadamente esse fluxo de matérias e para isso necessita de estudos abordando a temática. Como consequência, é o país com mais publicações, totalizando 32, como se vê no Gráfico 5 logo abaixo. O Brasil encontra-se em 4º lugar com 6 publicações, o que ainda é consideravelmente pouco para o país que mais gera REEE na América Latina.

Gráfico 5 – Produção científica por país



Fonte: o autor (2020)

Por último, mas não menos importante, tem-se a nuvem de palavras, ilustrada na Figura 3 gerada a partir do pacote R Bobliometrix. Nela, ocorre o agrupamento e organização gráfica das palavras em função da sua frequência, possibilitando uma identificação rápida de forma facilmente compreensível e visualmente clara das palavras-chave. Das 20 que aparecem na figura, as de maior destaque são: “*e-waste*”, “*system*”, “*collection*”, “*China*” e “*electronic waste*”. Observa-se que a indicação dessas palavras na rede confirmam a escolha assertiva em utilizar os termos “*collection system*” AND “*e-waste management*” para realização dessa análise bibliométrica, uma vez que, possibilita uma maior abrangência do corpus da pesquisa.

Figura 3 - Nuvem de Palavras



Fonte: o autor (2020)

3.1 Síntese do Estado da Arte sobre o Gerenciamento de Sistemas de Coleta de REEE

A partir da análise dos gráficos dessa revisão da literatura e análise bibliométrica, foi possível observar informações importantes no contexto do gerenciamento de REEE. Como por exemplo, quanto à análise dos autores mais relevantes e com maiores números de publicações, observou-se que a produção entre o primeiro colocado (Li Jinhui) e o segundo (Ahmed Shameem) tem uma diferença de quase o dobro em números absolutos. Enquanto o primeiro

tem 7 publicações, o segundo tem 4. Ahmed Shameem, Islam MT, Liu L e Parajuly K aparecem na sequência da lista com quatro publicações cada um.

Com relação a distribuição dos trabalhos por jornal, revista ou conferência, observou-se uma preferência dos autores pela publicação no *Journal of Cleaner Production e no Resources Conservation And Recycling*. Estas duas opções aparecem em primeiro (18 publicações) e segundo lugar (10 publicações), respectivamente.

Observando os artigos mais citados, temos o trabalho de KHETRIWAL et al. (2009) em primeiro lugar. Mesmo sendo uma publicação de 2009, seu trabalho ainda é muito relevante por que trata da aplicabilidade da EPR na área de gerenciamento de fim de vida útil de equipamentos eletrônicos e elétricos (EEE), sendo uma referência para demais autores. Além disso, o artigo traz muitas discussões globais e interessantes na área de gerenciamento de REEE, o que o torna um dos mais citados.

O segundo artigo mais citado por autoria de Yu et al. 2010, analisa a estrutura existente para gerenciamento de lixo eletrônico na China, incluindo políticas regulatórias e projetos piloto que foram estabelecidos com a intenção de testar novos sistemas formais para substituir a reciclagem informal. Já ZENG et al. (2015), representando o terceiro artigo mais citado, fizeram uma pesquisa falando sobre a periculosidade do descarte incorreto de baterias de íon-lítio usadas e descobriram que a falta de regulamentação eficaz, sistemas de coleta e tecnologias de reciclagem são grandes barreiras e desafios para solucionar os problemas.

Considerando esses três artigos mais citados, o que se nota são discussões a respeito das responsabilidades pelo lixo eletrônico, a aplicabilidade de EPR, as barreiras enfrentadas com políticas regulatórias e a preocupação com o destino apropriado a esse tipo de resíduo. Além disso, percebe-se que todo o processo de gerenciamento de REEE depende muito de um volume de coleta considerável para que todo o restante do processo se torne sustentável financeiramente. Puxando dessa forma, a possibilidade de desenvolvimento de estudos que envolvam esse tema, visando reduzir o gargalo de processos posteriores à coleta.

No quesito número de publicações por ano, vê-se uma tendência de crescimento nos estudos sobre resíduos eletroeletrônicos devido a preocupação de governos, partes interessadas e população em abordar melhor o gerenciamento desses resíduos e alcançarem suas metas de desempenho sustentável. A China é um país que entra forte nas publicações de trabalhos devido a necessidade *in loco* de resolver o problema desse tipo de lixo que se acumula rapidamente.

De maneira geral, na análise das discussões, soluções e proposições de alguns trabalhos dessa revisão sistemática, outras considerações podem ser feitas. Percebeu-se, por exemplo, que apesar dos esforços regulatórios e das diversas formas de discussões e estudos publicados, o gerenciamento do lixo eletroeletrônico permanece um grande desafio para diversos países. E também que questões de saúde e poluição ambiental ainda são discutidas para serem conhecidas e esclarecidas de maneira mais profunda.

Outro aspecto percebido é que se sabe que o lixo eletrônico tem grande potencial econômico, por possuírem peças de valor agregado. Dessa forma, fica uma lacuna para que trabalhos futuros possam estudar e trazer propostas específicas para melhorar as tecnologias de reciclagem eletrônica em termos de eficiência, acessibilidade e desempenho ambiental que lidem com a complexidade do lixo eletrônico.

Notou-se também trabalhos aplicados em algumas cidades ou regiões, que abordaram as preferências de descarte por parte do cidadão e o seu nível de conscientização e sensibilização sobre os REEE. Nesse sentido, pode-se citar mais uma recomendação para que trabalhos futuros possam abordar possíveis mudanças nos padrões de consumo, sugerindo alternativas e cenários que possam ser avaliados por cidadãos, órgãos públicos e instituições privadas.

Da mesma forma, outras lacunas poderiam ser exploradas por novos estudos, como por exemplo: trabalhos que abordem especificamente soluções para a coleta de REEE envolvendo pesquisa operacional e tomada de decisão e estudos que abordem alternativas que visem o aumento o número de resíduos coletados para que se tenha as etapas seguintes sustentáveis financeiramente.

Isto posto, espera-se que o panorama traçado por essa revisão sistemática instigue pesquisadores a compreenderem as perspectivas e expectativas acadêmicas relacionadas ao gerenciamento de sistemas de coleta de REEE. Foram mostrados importantes números relacionados a autores e a publicações que possibilitaram a visualização dos temas mais recorrentes na área e também a visualização de lacunas que servirão de propostas para trabalhos futuros, proporcionando um o direcionamento e esclarecimento maior sobre o tema.

Outrossim, possibilitou um *benchmarking* nos países que mais publicam para visualizar as principais ações e políticas sugeridas para que possam ser utilizadas nesse trabalho e em trabalhos futuros desenvolvidos no Brasil. Além do mais, auxiliou no direcionamento desse trabalho que pretende contribuir para preencher uma lacuna observada nessa revisão sistemática, relativa ao desenvolvimento de um estudo envolvendo sistemas de coleta de REEE

e multicritério, propondo alternativas que aumentem o número de lixo eletrônico coletado e auxiliem gestores públicos na tomada de decisão.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas duas metodologias. Uma referente à revisão da literatura e análise bibliométrica (seção 4.1) e a outra do modelo multicritério (seção 4.2) para avaliar alternativas ao gerenciamento de sistemas de coleta de resíduos eletroeletrônicos, no contexto da problemática de ordenação.

4.1 Revisão da literatura e análise bibliométrica

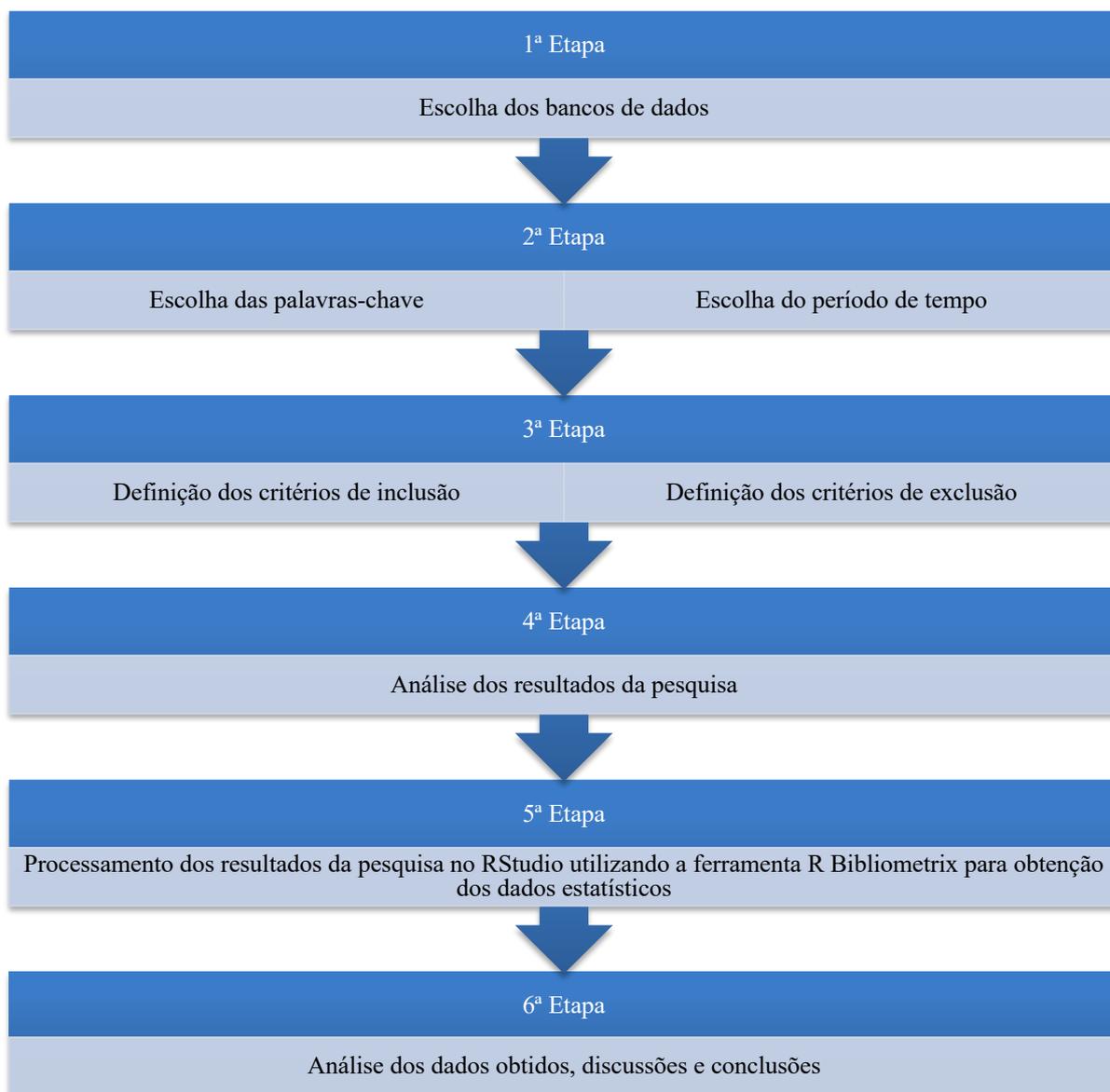
A bibliometria, área de estudo que emprega métodos matemáticos e estatísticos para investigar e quantificar os processos de comunicação escrita (Guedes & Borschiver, 2005), apresenta-se como uma alternativa útil e eficaz para o processo de desenvolvimento do conhecimento, permitindo identificar o volume de trabalhos produzidos, os autores de maior relevância e produtividade, dentre outros aspectos. Além disso, a revisão bibliométrica se mostra como uma importante ferramenta no processo de planejamento de novas pesquisas, uma vez que identifica as lacunas de investigação de determinado objeto de estudo (APA, 2001).

O processo de desenvolvimento de uma revisão da literatura e análise bibliométrica pode ilustrada com as etapas presentes na Figura 4. Observa-se que primeiramente deve-se estabelecer os bancos de dados onde se deseja trabalhar (podendo ser um ou mais), em seguida define-se as palavras-chave que serão utilizadas na pesquisa e o período de tempo que será considerado.

Na sequência, a terceira etapa consiste em definir quais serão os critérios de inclusão e exclusão a serem considerados na seleção dos trabalhos pesquisados. Após definir esses critérios, segue-se para a quarta etapa (análise dos resultados da pesquisa), onde se avalia os trabalhos e os classificam para fazer parte ou não da pesquisa.

A quinta etapa é a de processamento dos dados da pesquisa no *RStudio* utilizando o pacote *R Bibliometrix*, disponível em <http://www.bibliometrix.org> (ARIA e CUCCURULLO 2017). E por último, mas não menos importante, a sexta etapa onde são realizadas as análises dos dados obtidos e suas devidas considerações.

Figura 4 – Etapas da revisão da literatura e análise bibliométrica



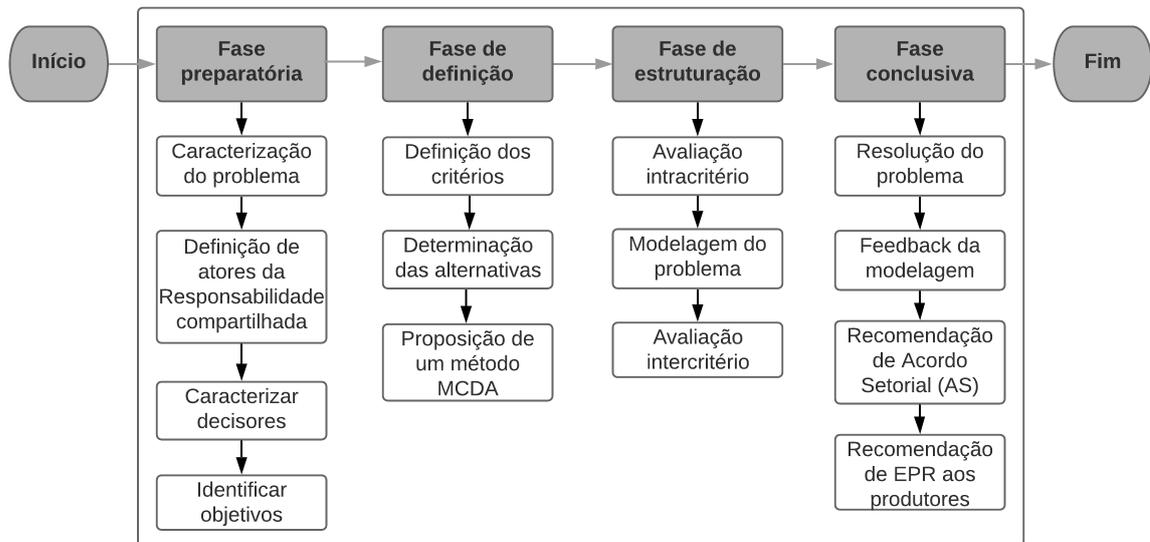
Fonte: autoria própria (2020)

O tópico seguinte apresenta a metodologia para o modelo multicritério proposto.

4.2 Modelo proposto

A Figura 5 mostra as quatro fases do modelo, que é basicamente a subdivisão desta seção. Trata-se de um modelo adaptado de Almeida (2013) e inclui alguns aspectos particulares associados, como: recomendações de Acordo Setorial e de EPR na fase conclusiva. Esse modelo pode ser aplicado a qualquer problema envolvendo tomada de decisão em gerenciamento de REEE.

Figura 5 - Framework das fases do modelo

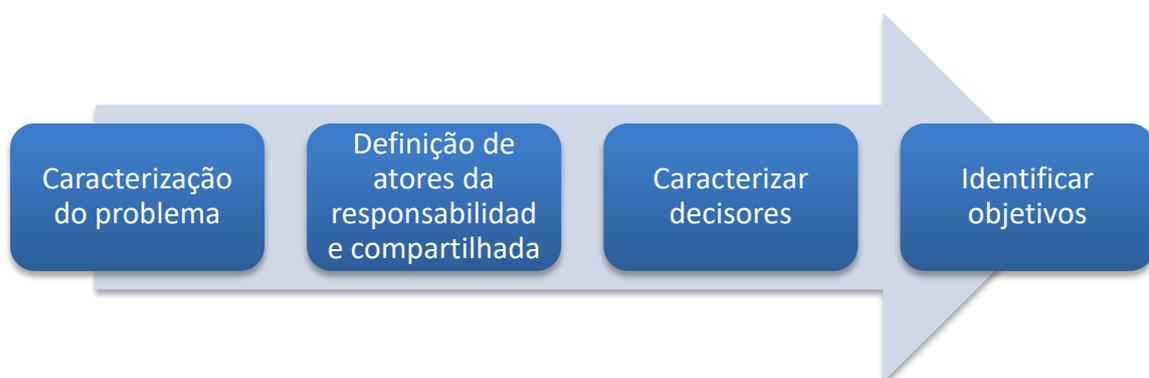


Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

4.2.1 Fase preparatória

A partir do modelo proposto, inicia-se a construção de suas fases. A primeira delas consiste na caracterização do problema, onde podem ser tecidos as principais adversidades a serem resolvidas e os principais pontos que definam e esclareçam a problemática estudada. Em seguida ocorre a definição dos atores da responsabilidade compartilhada, posteriormente é feita a caracterização do(s) decisor(es) e outros atores envolvidos no problema, e finalmente se definem os objetivos a serem atendidos pelo(s) decisor(es) na proposição do estudo, seguindo os passos da Figura 6.

Figura 6 - Fase preparatória

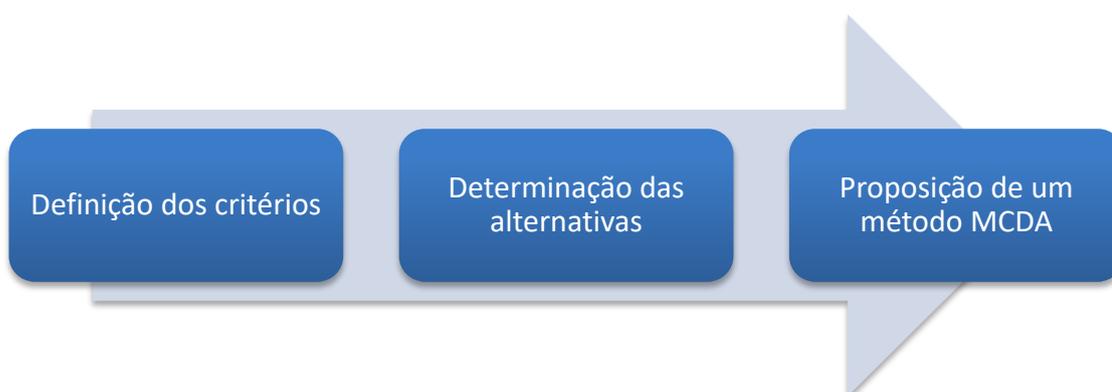


Fonte: o autor (2020)

4.2.2 Fase de definição

Nesta fase são estabelecidos os critérios, que segundo Roy (1996) devem representar todos os objetivos do decisor e não deve haver redundância entre os eles. O importante aqui é identificar quais critérios são relevantes para o problema em questão (HENING; BUCHANAN, 1994). Além disso, deve-se estabelecer as alternativas que auxiliarão os decisores a gerir melhor resíduos de eletroeletrônicos e propor de um método MCDA adequado a problemática que se estuda. A Figura 7 ilustra o sequenciamento dessa fase.

Figura 7 – Fase de definição



Fonte: o autor (2020)

Como sugestão para uso nesse modelo, os critérios do Quadro 9 foram escolhidos a partir dos critérios do Quadro 4, apresentado no capítulo 2 (Referencial Teórico). Esses são os critérios mais usuais dentro da temática e se referem a aspectos sociais, ambientais e econômicos, uma vez que estão intrinsecamente associados ao impacto no meio ambiente, o impacto para a sociedade e o impacto nos custos ligados à gestão de REEE. Desta forma, as descrições de cada um dos critérios sugeridos estão dispostos no Quadro 9.

Quadro 9 – Descrição dos critérios sugeridos

Grupo	Critério		Descrição
Social	C1	Adaptabilidade com a legislação vigente	O grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais.

	C2	Impacto de aceitação social	O grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE.
	C3	Criação de emprego	O potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado.
	C4	Impacto na diminuição de descarte incorreto	O grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta.
Ambiental	C5	Nível de possíveis impactos ambientais	Possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa.
Econômico	C6	Custo do investimento	O custo incorrido para implementação da alternativa.
	C7	Custo de operação e manutenção	O custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção.
Técnico	C8	Dificuldade técnica	Nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos.
	C9	Adaptabilidade as condições locais	Grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável.
	C10	Funcionalismo	Grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação;

Fonte: autoria própria (2020)

As alternativas sugeridas para o modelo dizem respeito à ações básicas relacionadas aos tipos de modelos de gestão e coleta de REEE. Essas alternativas são hipotéticas e foram selecionadas com base em estudos que discutem problemas e soluções referentes à coleta de REEE e outros trabalhos que relacionaram as principais barreiras associadas a implementação da logística reversa no Brasil e no mundo.

Hicks et al. (2005) discutem o status da reciclagem e descarte de REEE na China e seus impactos no meio ambiente, na saúde humana e na economia. Eles comentam que a existência de um amplo setor informal, combinado com a falta de conscientização ambiental entre coletores, recicladores e consumidores de REEE, estão contribuindo para as dificuldades da China em desenvolver um sistema de reciclagem e descarte financeiramente e ambientalmente correto.

Taghipour et al. (2012) fizeram um estudo e constataram que no Irã, não haviam informações disponíveis e precisas que descrevessem as características e a taxa de geração de lixo eletrônico ou a prática real de gerenciamento e manuseio do lixo. Os autores comentam que apesar de existir legislação primária para gerenciamento de lixo eletrônico (como parte da legislação geral sobre resíduos) no Irã, essa legislação primária ainda não foi implementada. Além disso, as melhorias propostas no país são identificadas primeiro considerando as experiências de outros países e sugerindo políticas práticas, regras e regulamentos específicos que devem ser estabelecidos e aplicados a todos os níveis de gerenciamento de lixo eletrônico. Por fim, os autores também discorrem que uma das políticas mais atraentes de gerenciamento de lixo eletrônico é um programa de responsabilidade ampliada do produtor (EPR).

Considerando esses casos e outros estudos de outros autores, 10 alternativas para o gerenciamento e coleta de REEE são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Alternativas sugeridas para gerenciamento e coleta de REEE

	Alternativa	Descrição
1	Coleta porta à porta pela prefeitura	Algumas variações de coletas móveis podem ser encontradas em diferentes países, como a coleta na calçada ou retirada do equipamento entregue diretamente pelos moradores (HICKS et al., 2005 ; LI et al., 2012 ; SAPHORES et al., 2012).
2	Coleta porta à porta por catadores	Em muitos países existem catadores que fazem a coleta de resíduos e fazem a venda para estações de reciclagem (DE SOUZA et al., 2016).
3	Pontos de coleta em lojas de EEE	Pontos de coleta também podem ser localizados nas lojas que vendem novos produtos elétricos e eletrônicos (DE SOUZA et al., 2016; NOWAKOWSKI e BOGNA, 2018).
4	Pontos de coleta em lojas de assistência técnica	Alguns trabalhos mostram a necessidade de integrar a assistência técnica na gestão dos REEE, por ser um setor participante do sistema e também um dos protagonistas nas etapas de descarte (GUARNIERI et al., 2016 , ORLINS e GUAN, 2016).

5	Coleta pela prefeitura com agendamento	Uma forma alternativa dessa coleta é o desperdício sob demanda, organizado por uma ligação telefônica ou por um pedido de site (KRÓL et al., 2016)
6	Lixeiras especiais espalhadas por locais estratégicos / PEVs (Pontos de entrega voluntária)	Podem ser localizados perto de prédios de apartamentos ou bairros de residências unifamiliares ou outros locais usualmente utilizados: em shopping centers, prefeituras etc. (GOODSHIP e STEVELS, 2012).
7	Participação pública que fomenta a ampliação do conhecimento e consciência sobre descarte adequado de REEE.	Para coletar REEE com sucesso em um país em desenvolvimento, é necessário um programa de conscientização e estímulo para melhorar a consciência pública sobre a importância do descarte adequado (TAGHIPOUR et al., 2012). Educação ambiental nas escolas primárias, médio e secundário pode definir o estágio inicial para ambas as mudanças culturais e comportamentais de curto e longo prazo.
8	Fazer um estudo para avaliar a preferência das pessoas para o descarte de determinados produtos e a partir delas criar uma estratégia de coleta.	Cao et al., 2016, Fizeram um estudo que avaliou a conscientização do público sobre REEE na província de Zhejiang (China). A pesquisa estudou também 7 formas de descarte possíveis de determinados produtos a serem feitas pelas pessoas e constatou que os métodos mais usuais de eliminação dos REEE são: “Velho por Novo”, “Venda para comerciantes privados” e “vender às lojas de segunda mão”.
9	Fazer propagandas educativas em massa sobre EPR (o que é, os verdadeiros desafios por trás, etc) e sobre REEE (seus potenciais problemas e as vantagens da sua reciclagem e coleta adequada)	As pessoas, na ausência de um conhecimento abrangente de princípios EPR são propensas a atribuir a principal responsabilidade da reciclagem de REEE para o governo. Este equívoco, até certo ponto, não só aumenta a pressão do governo e prejudica a iniciativa subjetiva do governo, mas também é prejudicial para o estabelecimento de um sistema de reciclagem de REEE eficaz (SUN et al., 2015). De acordo com a experiência dos países desenvolvidos, a reciclagem de REEE é uma tarefa cara e uma combinação de gestão governamental e o financiamento por parte de produtores ou consumidores é a chave para o sucesso (CAO et al., 2016).
10	Estudar a dinâmica de incentivos financeiros oferecidos às pessoas que pretendem descartar REEE.	Um aspecto importante da gestão de lixo eletrônico é a dinâmica dos incentivos financeiros oferecidos a clientes ou usuários finais para eliminação de seu REEE. Como o fator econômico (sob o sistema de depósito-reembolso, a recompra etc.). Afeta o comportamento e eliminação de fluxo de e-resíduos através de vários canais, especialmente em lojas e reciclagem e pontos de recolha do governo local (se houver no sistema). Pesquisas com clientes (por análise do comportamento eliminação) e sistemas de monitoramento rigorosos poderia ser útil no

		desenvolvimento da qualidade e quantidade do inventário de dados (ISLAM e HUDA, 2019)
--	--	---

Fonte: o autor (2020)

Após as sugestões de critérios e alternativas para o modelo, segue-se para a caracterização dos fatores necessários para a escolha do método multicritério. De acordo com Almeida (2013), alguns aspectos devem ser considerados na escolha do método multicritério. Dessa forma, a descrição de fatores como contexto, racionalidade, estrutura de preferência e o tipo problemática facilitam na escolha do método. A definição desses fatores são mostrados no Quadro 11.

Quadro 11 - Escolhendo um método multicritério para o problema em análise

Fator	Descrição
Contexto	É um problema de ordenação
Racionalidade	A racionalidade compensatória do tomador de decisão: um critério com avaliação inferior pode ter seu valor global compensado por uma avaliação muito boa em outro critério .
Estrutura de preferência	Como o tomador de decisão é capaz de comparar todos os critérios e tem uma ordem de preferência, a estrutura preferencial adequada é a preferência e a indiferença (P, I).
Problemática	Alternativas para gestão de coleta de REEE.

Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

Com base no Quadro 11, a abordagem MCDA que melhor se ajusta ao contexto em análise é a o modelo de agregação aditivo determinístico, que é um método de agregação a critério único de síntese, como o valor ou a utilidade das alternativas (ROY, 1996). Sua natureza compensatória permite que um pior desempenho de uma alternativa em um determinado critério seja compensado por um melhor desempenho em outro critério (DE ALMEIDA, 2013).

4.2.3 Fase de estruturação

De posse dos critérios e alternativas, é possível, junto com o decisor, fazer a avaliação intracritério, que segundo Almeida (2013) varia de acordo com o método de apoio à decisão utilizado no processo. Ainda segundo o autor, a avaliação intracritério é a etapa onde serão determinadas as escalas para avaliação dos critérios, pois para todos eles deve-se utilizar um método padrão que auxilie na decisão de modo igualitário entre eles.

Para Costa (2011), uma escala de mensuração é composta por um conjunto de indicadores, uma escala de verificação e um conjunto de regras. Os indicadores são os elementos de conteúdo que asseguram a presença do conceito do construto na escala de mensuração, ou seja, são as afirmações sobre determinado construto. A escala de verificação envolve os números que vêm associados aos indicadores para sua medição, são os níveis de concordância (1 até 5; 1 até 7; 1 até 10). As regras são as indicações para uso do instrumento, em termos de sua aplicação e interpretação, indicando nível de avaliação da questão (alta ou baixa importância) (SILVA JÚNIOR, 2014).

Existem vários tipos de escala de verificação, no entanto para esse modelo é sugerida a escala *Likert*, que é a mais utilizada para pesquisa de opinião. A grande vantagem da escala *Likert* é a facilidade de manuseio, pois é fácil um pesquisador emitir um grau de concordância sobre uma afirmação qualquer (COSTA, 2011).

Criada em 1932 pelo educador e psicólogo social americano Likert Rensis (1903-1981), a escala *Likert* é um instrumento no qual o respondente manifesta seu grau de concordância, assinalando valores numa escala do tipo: (1) discordo inteiramente, (2) discordo, (3) nem concordo nem discordo (4) concordo, (5) concordo inteiramente. É um tipo de escala que têm os seguintes pontos positivos: é de fácil elaboração e aplicação; é mais objetiva e homogênea; e aumenta a probabilidade de mensuração de atitudes unitárias (SCOLARIS, 2009).

Na escala de *Likert*, as respostas para cada item variam segundo o grau de intensidade. Por isso, é caracterizada por ter categorias ordenadas e igualmente espaçadas (SARAPH, 1989; BADRI, 1995; TAMIMI, 1995; e ALEXANDRE, 1995). Além disso, a confirmação de consistência psicométrica nas métricas que utilizaram esta escala contribuiu positivamente para sua aplicação nas mais diversas pesquisas (COSTA, 2011).

Após determinar a escala de mensuração que mais adequada, segue-se para a etapa seguinte de modelagem, que segundo Longaray (2017), consiste em um conjunto de procedimentos utilizados para construir um esquema que represente o problema. Dessa forma, a matriz de consequências faz parte desse processo, onde se interpreta um problema real em forma de texto, em um problema matemático. Nela, são inseridas as avaliações entre os critérios e alternativas. E por último pode ser feita a avaliação intercritério, que é ordenar os critérios de acordo com a sua importância (esse passo pode variar a depender do método escolhido na fase anterior, podendo ser necessário estipular valores de pesos para os critérios). Essas fases estão dispostas na Figura 8.

Figura 8 – Fase de estruturação



Fonte: o autor (2020)

O Quadro 12 traz o exemplo de uma matriz de consequências que pode ser adaptada de acordo com o número de alternativas e critérios disponíveis. Ela auxilia nas avaliações de cada alternativa com cada critério associado. O preenchimento pode ser feito usando escalas de avaliações ou valores absolutos, se disponíveis na pesquisa.

Quadro 12 - Exemplo de uma matriz de consequências

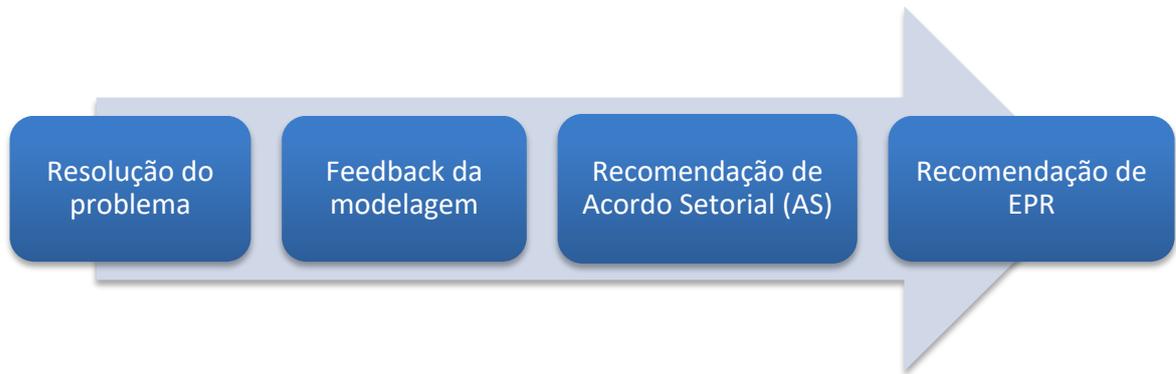
Alternativas	Critérios				
	C1	C2	C3	...	C _n
A1					
A2					
A3					
...					
A _n					

Fonte: o autor (2020)

4.2.4 Fase conclusiva

Nesta última fase acontece a resolução do problema seguindo as diretrizes do modelo MCDA utilizado. Posteriormente obtém-se o *feedback* da modelagem com os resultados do problema. E finalmente a fase se encerra com as devidas discussões a respeito dos resultados, as conclusões e recomendações fundamentadas em Acordo Setorial e EPR. A Figura 9 ilustra essas fases.

Figura 9 - Fase conclusiva



Fonte: o autor (2020)

O capítulo seguinte traz a aplicação do modelo apresentado neste capítulo.

5 APLICAÇÃO DO MODELO

Este capítulo apresenta a aplicação do modelo. Ele é subdividido em seções que representam as fases mostradas na seção 4.2 do capítulo 4 referente à metodologia. Dessa maneira, a seção 5.1 é a fase preparatória com importantes informações sobre a contextualização do problema, definição de atores, definição de caracterização de decisores e a identificação dos objetivos. A seção 5.2 traz a fase de definição onde são apresentados critérios, alternativas e um método MCDA é proposto. Na sequência, tem-se a fase de estruturação na seção 5.3, onde são descritas a modelagem do problema e as avaliações intracritério e intercritério. E por último, a seção 5.4 como a fase conclusiva, onde são mostrados a resolução do problema, o feedback da modelagem e algumas considerações sobre a aplicação do modelo. As recomendações de Acordo Setorial e de EPR são apresentadas no capítulo seguinte.

5.1 Fase preparatória

5.1.1 Contextualização do problema

Sabe-se que os Resíduos Sólidos, incluindo os REEE's têm crescido muito nos últimos anos e que virou uma preocupação mundial seu gerenciamento adequado. Com isso, o Brasil criou a Lei nº 12.305/10 que instituiu a PNRS com instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Considerando a necessidade do gerenciamento adequado dos REEE's, esse trabalho considera critérios com aspectos sociais, ambientais, financeiros e técnicos para obter um ranking de alternativas que poderá auxiliar gestores do setor público na tomada de decisão sobre a coleta desses resíduos. Para isso, utiliza-se o *FITtradeoff* como método matemático para auxiliar na solução desse problema. O decisor que contribui para essa pesquisa trabalha no setor público, é especializado na área de gestão de resíduos eletroeletrônicos, tem muita experiência pois desenvolve pesquisas e faz publicações envolvendo a temática.

A seguir são definidos os atores da responsabilidade compartilhada do problema.

5.1.2 Definição de atores da responsabilidade compartilhada

Sabe-se que um sistema de coleta bem estruturado necessita do apoio de várias partes para ter um melhor desempenho em seu funcionamento, esse é um dos princípios da EPR. Espera-se que haja um engajamento envolvendo produtores (e também varejistas, atacadistas e

importadores), consumidores e o poder público dentro do ciclo de vida dos produtos, como proposto pela própria PNRS. É importante ressaltar que para este estudo, esses atores não participam como stakeholders no processo de decisão, ou seja, não é um modelo de decisão em grupo. Mesmo assim eles são reconhecidos como partes importantes no processo de gerenciamento de REEE's.

5.1.3 Caracterização do(s) decisor(es)

O decisor que fará parte da aplicação desse modelo é um membro do setor público federal que atua na área de pesquisa de gerenciamento de REEE e é responsável pela proposição de acordos importantes no setor. Tem publicações de artigos, livros e coordena grupos de pesquisa envolvendo a temática. Além disso, possui experiência em Gestão de Empresas, Logística de Suprimentos e Logística Reversa, Economia Circular e Análise de decisões.

O Apêndice A foi utilizado para coletar informações do decisor e respostas a respeito da coleta e gestão de resíduos eletroeletrônicos, auxiliando nas discussões conclusivas deste trabalho. No tópico seguinte são identificados os objetivos.

5.1.4 Identificação dos objetivos

E para finalizar essa fase preparatória, tem-se a identificação dos objetivos a serem alcançados no sistema de coleta dos REEE, que seriam:

- a redução de custos;
- aumentar a quantidade coletada;
- diminuir a quantidade de REEE descartados junto ao lixo doméstico;
- estimular discussões sobre a responsabilidade compartilhada, e;
- adaptar-se as legislações vigentes.

5.2 Fase de definição

5.2.1 Definição dos critérios

Os critérios para essa aplicação são os apresentados no Quadro 9 do capítulo 4, propostos no modelo. Além de serem os critérios mais usuais para a área em estudo, eles também representam os objetivos explicitados na fase preparatória. É importante ressaltar que os critérios aqui utilizados não foram elicitados pelo decisor, mas fazem parte de um levantamento feito a partir de trabalhos publicados envolvendo multicritério e gestão de REEE.

5.2.2 Definição das alternativas

Assim como os critérios, as alternativas utilizadas estão dispostas como sugestão para o modelo no Quadro 10 do capítulo 4. Elas dizem respeito às ações básicas relacionadas aos tipos de modelos de gestão de REEE. Essas alternativas foram selecionadas com base em estudos que discutem problemas e soluções referentes à coleta de REEE e outros trabalhos que relacionaram as principais barreiras associadas à implementação da logística reversa no Brasil e no mundo. É importante ressaltar que essa aplicação utiliza as alternativas propostas no modelo, ou seja, elas não foram elicitadas pelo decisor.

A última etapa desta fase é a proposição de um modelo MCDA, que foi definido como sendo o *FITradeoff* para a problemática de ordenação. As justificativas para uso desse método estão dispostas no item seguinte.

5.2.3 Proposição e justificativa do método MCDA

Levando em consideração os fatores necessários para a escolha de um método multicritério apresentados no Quadro 11 do capítulo 4, essa aplicação do modelo utiliza o *FITradeoff* para problemática de ordenação desenvolvido por Frej et al. (2017). O método, de modo geral, traz vantagens que o *Tradeoff* tradicional não tem, como: não definir valores exatos para os pesos, reduzindo inconsistências nos resultados e o esforço cognitivo do decisor; o tempo de aplicação é reduzido, o que é importante para não despender muito tempo do decisor; e o processo é flexível e interativo, o que possibilita a interrupção por parte do decisor quando o mesmo achar que os resultados parciais satisfazem suas necessidades (DE ALMEIDA et al., 2016). Vale ressaltar que este trabalho segue como aplicação da proposta desenvolvida por Fernandes et al. (2019) que sugeriram um modelo MCDA para auxiliar na ordenação de alternativas relacionadas aos sistemas de coleta de REEE.

Na fase a seguir são descritos os detalhes da fase de estruturação.

5.3 Fase de estruturação

5.3.1 Avaliação intracritério

Todos os critérios desse trabalho são classificados como qualitativos e podem ser avaliados utilizando uma escala *Likert* devido à sua subjetividade. Escala de 5 (cinco) pontos para todos os critérios, sendo:

- (1) Muito baixo;

- (2) Baixo;
- (3) Indistinto;
- (4) Alto;
- (5) Muito alto.

E finalmente é realizada uma avaliação, critério a critério para determinar o objetivo deles referentes à minimização ou maximização. O Quadro 13 traz essas avaliações.

Quadro 13 - Critérios e suas características

Critério		Objetivo (máx/mín)
C1	Adaptabilidade com a legislação vigente	Maximizar
C2	Impacto de aceitação social	Maximizar
C3	Criação de emprego	Maximizar
C4	Impacto na diminuição de descarte incorreto	Maximizar
C5	Nível de possíveis impactos ambientais	Minimizar
C6	Custo do investimento	Minimizar
C7	Custo de operação e manutenção	Minimizar
C8	Dificuldade técnica	Minimizar
C9	Adaptabilidade as condições locais	Maximizar
C10	Funcionalismo	Maximizar

Fonte: o autor (2020)

5.3.2 Modelagem do problema

De posse dos critérios e alternativas, é possível, junto com o decisor, construir a matriz de consequências e posteriormente ordenar os critérios de acordo com a sua importância. A Tabela 1 traz as avaliações de cada alternativa para cada critério associado. Essas avaliações apresentadas foram coletadas para este trabalho com o auxílio dos Apêndices B, C e D.

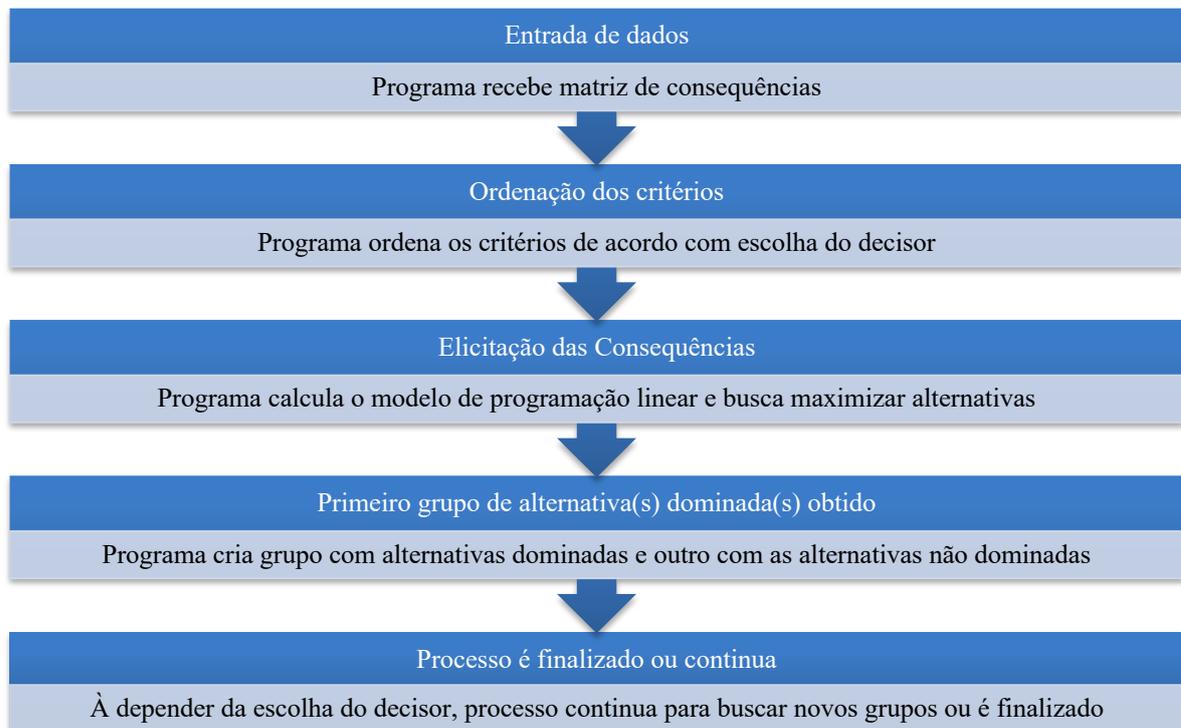
Tabela 1 - Matriz de consequências do problema

Alternativas	Critérios									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
A1	4	3	3	3	2	5	5	4	1	2
A2	5	3	4	3	4	2	2	4	2	2
A3	5	4	4	4	4	4	4	3	2	4
A4	4	3	3	3	3	2	2	2	4	4
A5	3	5	3	3	3	5	5	2	2	2
A6	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4
A7	5	5	4	5	5	4	4	2	2	4
A8	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4
A9	4	5	4	5	4	4	4	2	4	4
A10	5	5	4	5	4	5	5	5	2	2

Fonte: o autor (2020)

De posse desses dados, a planilha padrão para *upload* de dados para o *software* pode ser preenchida e o processo de aplicação do método se inicia. A Figura 10 ilustra como funciona a parte interativa e a parte computacional durante a utilização da ferramenta.

Figura 10 - Processo FITradeoff ordenação



Fonte: adaptada de Frej et al. (2017)

A planilha de upload para o software *FITradeoff* é apresentada na Tabela 2. Como se pode observar, a primeira linha apresenta os critérios em ordem crescente de numeração. A segunda linha é preenchida com uma numeração de 0 a 4 com um dos 4 tipos de critérios que são classificados em discretos ou contínuos e que podem ser, cada um deles, maximizados ou minimizados:

- Critério contínuo: qualquer valor dentro da faixa limitada pelos valores mínimo e máximo de desempenho no critério pode ser assumido;
- Critério discreto: somente valores em uma escala de pontos serão assumidos;
- Critério máx: quanto mais alto o valor no critério, mais preferido, e menor, menos preferido;
- Critério mín: quanto menor o valor no critério, mais preferido, e maior, menos preferido.

Como se utiliza a escala *Likert* para fazer as avaliações intercritério, pode-se classificar os critérios desse trabalho como discretos, pois somente valores em uma escala de pontos é assumida, e cada critério discreto é de maximização ou minimização.

A linha 4 da Tabela 2 é preenchida com número 1 para todos os critério, que representa a utilização da função linear durante a avaliação intracritério. Em sequência, a linha 7 é preenchida com o número 5 para todos os critérios pois todos eles tem uma escala *Likert* igual com 5 pontos.

Tabela 2 - Planilha para upload no software *FITradeoff*

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
0-Cont Min; 1-Cont Max; 2-Disc Min; 3-Disc Max;	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3
Weights:										
Type:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a:										
b:										
c:	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Alternatives:	Consequences Matrix									
Alternative 1	4	3	3	3	2	5	5	4	1	2
Alternative 2	5	3	4	3	4	2	2	4	2	2
Alternative 3	5	4	4	4	4	4	4	3	2	4
Alternative 4	4	3	3	3	3	2	2	2	4	4

Alternative 5	3	5	3	3	3	5	5	2	2	2
Alternative 6	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4
Alternative 7	5	5	4	5	5	4	4	2	2	4
Alternative 8	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4
Alternative 9	4	5	4	5	4	4	4	2	4	4
Alternative 10	5	5	4	5	4	5	5	5	2	2

Fonte: o autor (2020)

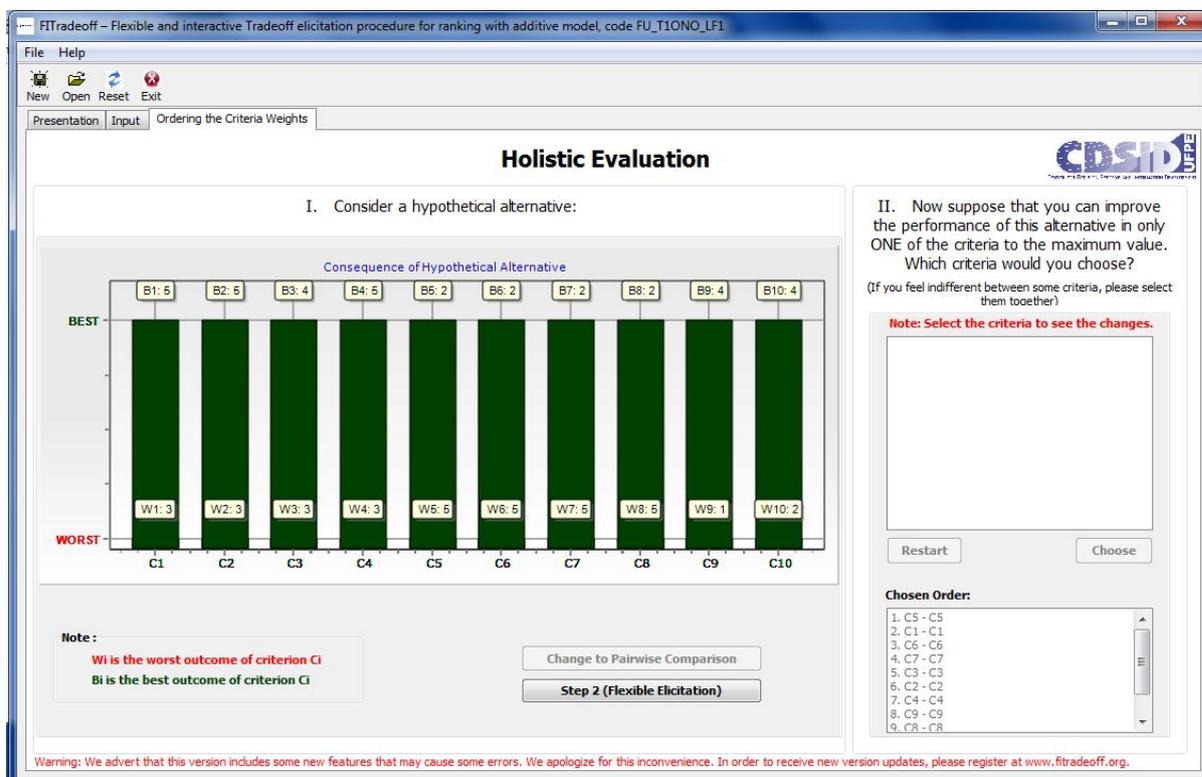
E finalmente, as linhas de 9 a 18 representam a matriz de consequências do problema e completam a tabela de *upload* para rodar o *software*. A próxima fase é a de avaliação intracritério e já utiliza a modelagem de preferências que foi auxiliada pelo Sistema de Suporte à Decisão *FITradeoff* (que está disponível para os leitores mediante solicitação em www.fitradeoff.org).

5.3.3 Avaliação intercritério

Após a entrada de dados, inicia-se a ordenação dos critérios de acordo com a importância para o decisor. Esse é o primeiro passo para a operacionalização do *FITradeoff*. Os critérios são colocados em ordem crescente de importância, a Figura 11 ilustra o ambiente do software após esse processo. Vale ressaltar que o decisor optou por fazer uma modificação na ordem escolhida anteriormente, obtendo-se finalmente a seguinte ordem:

- 1º. Nível de possíveis impactos ambientais (C5);
- 2º. Adaptabilidade com a legislação vigente (C1);
- 3º. Custo do investimento (C6);
- 4º. Custo de operação e manutenção (C7);
- 5º. Criação de emprego (C3);
- 6º. Impacto de aceitação social (C2);
- 7º. Impacto na diminuição de descarte incorreto (C4);
- 8º. Adaptabilidade as condições locais (C9);
- 9º. Dificuldade técnica (C8);
- 10º. Funcionalismo (C10).

Figura 11 - Ambiente do software FITradeoff após ordenar os pesos dos critérios



Fonte: o autor (2020)

Logo depois, o programa dispõe pares de critérios para que o decisor opte pela melhor consequência entre eles, é a fase de elicitacão. A partir das escolhas do decisor, o software calcula o modelo de programaco linear para todas as alternativas, buscando maximizá-las. A medida que as preferências e indiferenças são inseridas, o espaço de pesos vai sendo atualizado e um primeiro grupo de alternativas não dominadas é obtido.

Posteriormente, as alternativas que não entraram no primeiro grupo continuam no processo de elicitacão, com o decisor respondendo perguntas, até que todas elas sejam alocadas a um grupo. O processo para apenas quando todas as alternativas forem ordenadas, ou seja, até que o número de grupos formados seja igual ao número de alternativas disponíveis no modelo.

Vale ressaltar que o decisor pode optar por parar o processo a qualquer momento, mesmo antes de se obter um ranking completo, e ficar apenas com o resultado parcial obtido. Daí a flexibilidade do método. O FITradeoff requer um esforço cognitivo menor por parte do decisor se comparado ao *tradeoff* tradicional, pois as declaraes de preferência estrita são mais fáceis de fornecer do que declaraes de pontos de indiferença entre as consequências. Assim, menos inconsistências são esperadas. Além disso, o FITradeoff supera as principais deficiências do

procedimento de *tradeoff* tradicional, mas mantém sua estrutura axiomática e suas propriedades.

5.4 Fase conclusiva

5.4.1 Resolução do problema

Esta seção mostra o processo de elicitación flexível, ilustrado na Figura 12, em que uma sequência de cenários com diferentes consequências é apresentada ao decisor com questionamentos sobre relações de preferência entre pares de critérios, buscando estreitar o espaço de pesos.

Figura 12 - Ambiente do software FITradeoff durante elicitación

The screenshot shows the FITradeoff software interface. The main window title is "FITradeoff - Flexible and interactive Tradeoff elicitation procedure for ranking with additive model, code FU_T10NO_LF1". The interface is divided into several sections:

- Menu and Toolbar:** File, Help, New, Open, Reset, Exit.
- Navigation:** Presentation, Input, Flexible Elicitation.
- Main Question:** "Which consequence do you prefer?" with the instruction "Answer the questions by choosing one option".
- Consequence A Panel:** A vertical list of criteria C1 to C10. C1 is highlighted in blue. Each criterion has a corresponding value in a box: C1: X1: 4, C2: W2: 3, C3: W3: 5, C4: W4: 5, C5: W5: 3, C6: W6: 3, C7: W7: 3, C8: W8: 1, C9: W9: 5, C10: W10: 2.
- Consequence B Panel:** A vertical list of criteria B1 to B10. Each criterion has a corresponding value in a box: B1: 2, B2: 5, B3: 2, B4: 2, B5: 4, B6: 5, B7: 5, B8: 4, B9: 2, B10: 4.
- Note:**
 - Wi is the worst outcome of criterion Ci
 - Xi is an outcome in between best and worst of criterion Ci
 - Bi is the best outcome of criterion Ci
- Options Panel (Right):**
 - Options: Consequence A, Consequence B, Indifferent, No Answer.
 - Buttons: OK, Show Current Results.
 - Statistics: Number of Questions Answered: 0, Ranking levels: 1.
 - Chosen Order: C1 - C5, C2 - C1, C3 - C6, C4 - C7, C5 - C3, C6 - C2, C7 - C4.
- Warning:** We advert that this version includes some new features that may cause some errors. We apologize for this inconvenience. In order to receive new version updates, please register at www.fitradeoff.org.

Fonte: o autor (2020)

A Tabela 3 traz detalhes da aplicação do método, indicando o ciclo de cada comparação, os critérios e seus valores comparados em cada consequência, a preferência do decisor (preferência pela consequência A, B ou indiferença entre elas) e os níveis de ranking obtidos após o cálculo ter sido feito pelo modelo PPL. O FITradeoff reduz inconsistências e o esforço

cognitivo necessário para o decisor durante cada iteração e possui flexibilidade, pois reduz o número de ciclos de comparações feitas pelo decisor e dá a ele a liberdade de parar quando obter um resultado parcial satisfatório.

Tabela 3 - Ciclos e preferências do decisor durante o processo de elicitación flexível

Ciclo	Consequência A		Consequência B		Preferência	Níveis de Ranking
	C1	X ₁ =4	C10	B ₁₀ =4		
1	C1	X ₁ =4	C10	B ₁₀ =4	A	1
2	C1	X ₁ =4	C2	B ₂ =5	A	1
3	C2	X ₂ =4	C3	B ₃ =2	A	1
4	C3	X ₃ =4	C4	B ₄ =2	A	1
5	C4	X ₄ =4	C5	B ₅ =4	A	1
6	C5	X ₅ =3	C6	B ₆ =5	A	1
7	C6	X ₆ =4	C7	B ₇ =5	A	1
8	C7	X ₇ =4	C8	B ₈ =4	A	1
9	C8	X ₈ =3	C9	B ₉ =2	A	1
10	C9	X ₉ =4	C10	B ₁₀ =4	B	1
11	C1	X ₁ =4	C2	B ₂ =5	A	8
12	C2	X ₂ =3	C3	B ₃ =2	A	9
13	C3	X ₃ =4	C4	B ₄ =2	A	9
14	C4	X ₄ =4	C5	B ₅ =4	A	10

Fonte: o autor (2020)

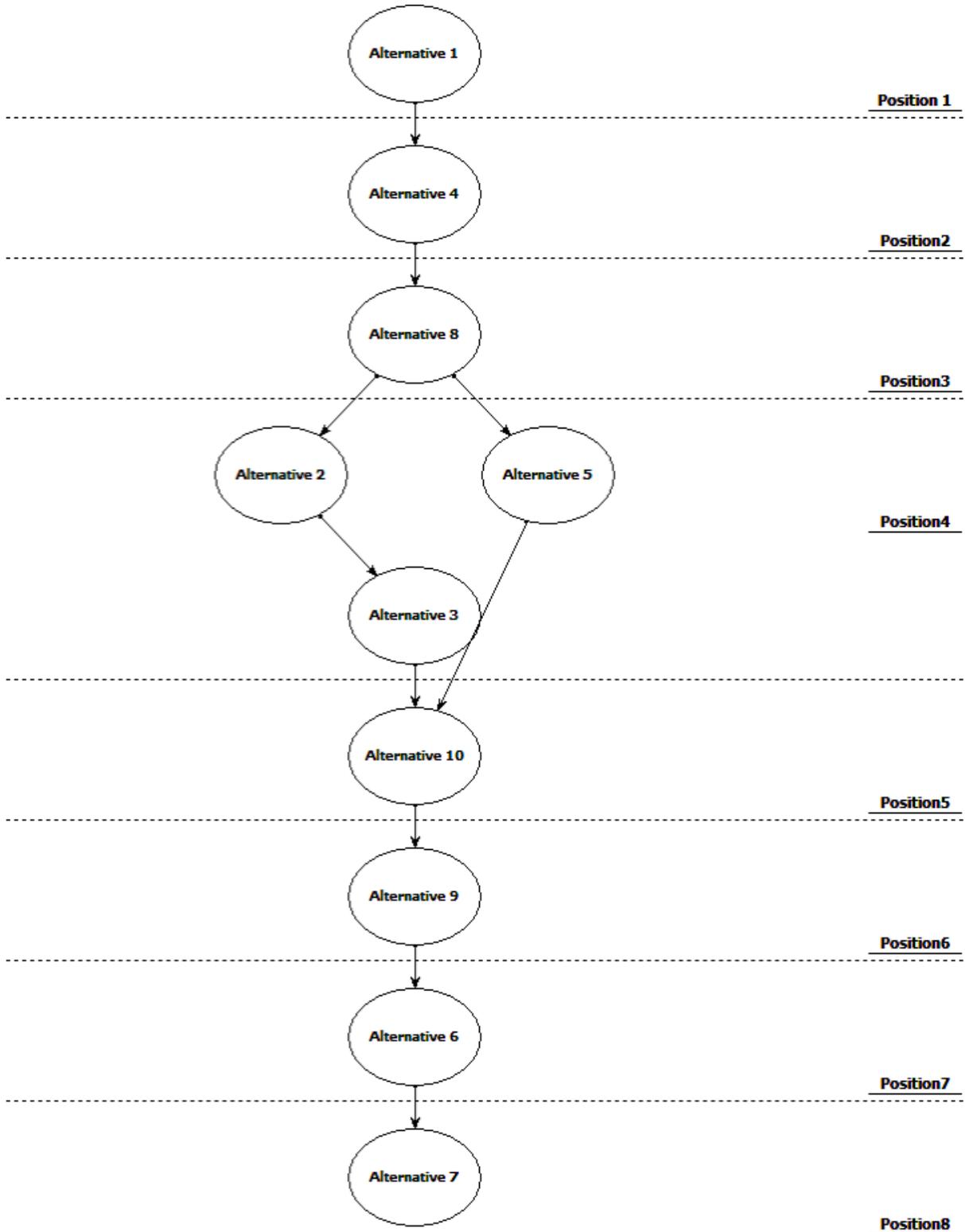
Nesse problema, foram realizados 14 ciclos. Houve mudança de níveis de *ranking* somente a partir do ciclo 11, quando se obteve 8 níveis. Ao responder a comparação 12, ocorreu uma nova mudança para 9 níveis. E finalmente, o ciclo 14 trouxe o *ranking* final de alternativas com 10 níveis. Durante o processo, o decisor não optou por parar e ater-se a um resultado parcial, ou seja, o processo continuou até que o número de grupos formados fosse igual ao número de alternativas. A seguir, é apresentado o feedback da modelagem.

5.4.2 Feedback da modelagem

Além do intervalo de pesos das constantes de escala, o *software* também fornece o diagrama de Hasse com o ranking das alternativas para cada ciclo. Com isso, após 11 perguntas terem sido respondidas pelo decisor, foi obtida uma ordem parcial das alternativas com 8 níveis,

ocorrendo um empate entre as alternativas 2, 5 e 3 no nível 4 do ranking, conforme o recorte do diagrama de Hasse mostrado na Figura 13.

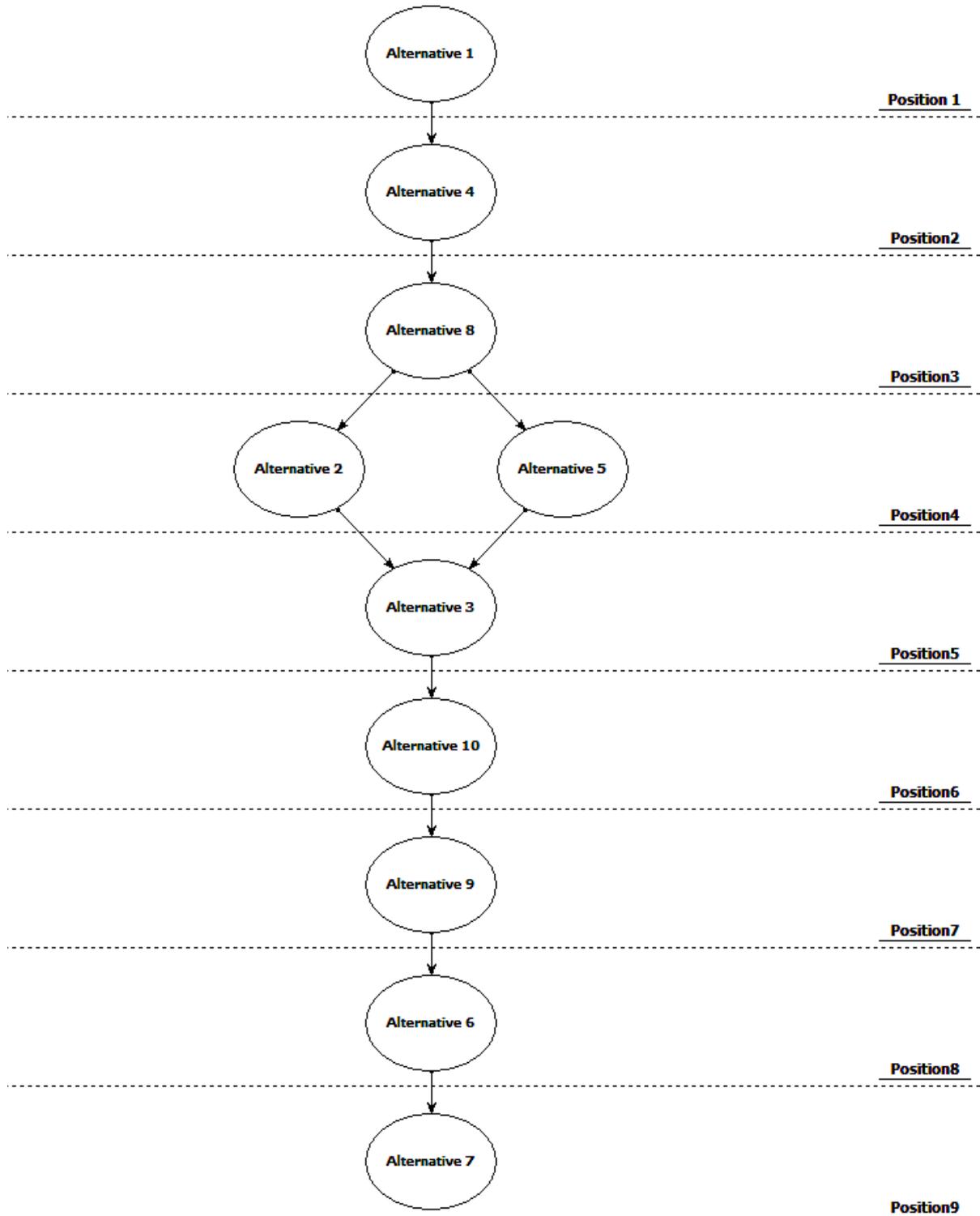
Figura 13 - Diagrama de Hasse para o ciclo 11



Fonte: o autor (2020)

Posteriormente, após a 12ª pergunta ser respondida pelo decisor, uma nova mudança no número de níveis ocorreu. A Figura 14 mostra o diagrama de Hasse, agora com 9 níveis e um empate entre as alternativas 2 e 5 no nível 4.

Figura 14 - Diagrama de Hasse para o ciclo 12



Fonte: o autor (2020)

E finalmente, no ciclo 14, obteve-se o ranking final de alternativas com 10 níveis. A Tabela 4 mostra a ordenação final alcançada com a alternativa 1 (coleta porta à porta pela prefeitura) em primeiro lugar, seguida da alternativa 4 (pontos de coleta em lojas de assistência técnica) em segundo lugar e a terceira posição com a alternativa 8 (fazer um estudo para avaliar a preferência das pessoas para o descarte de determinados produtos e a partir delas criar uma estratégia de coleta). Vale lembrar que o ranking é uma sugestão ao decisor para auxiliá-lo na tomada de decisão, estando ele livre para implementar uma ou mais alternativas da lista.

Tabela 4 - Ranking final de alternativas

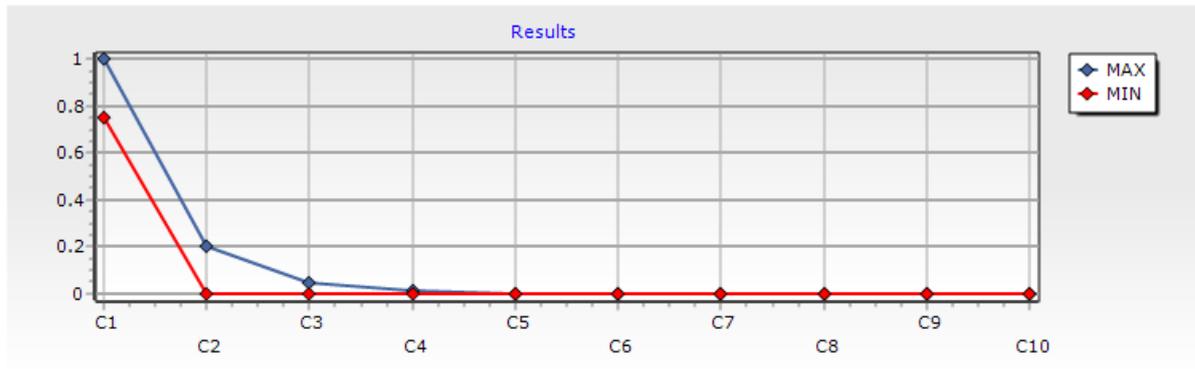
Ranking	Alternativa	Descrição da alternativa
1	1	Coleta porta à porta pela prefeitura.
2	4	Pontos de coleta em lojas de assistência técnica.
3	8	Fazer um estudo para avaliar a preferência das pessoas para o descarte de determinados produtos e a partir delas criar uma estratégia de coleta.
4	5	Coleta pela prefeitura com agendamento.
5	2	Coleta porta à porta por catadores.
6	3	Pontos de coleta em lojas de EEE.
7	10	Estudar a dinâmica de incentivos financeiros oferecidos às pessoas que pretendem descartar REEE.
8	9	Fazer propagandas educativas em massa sobre EPR (o que é, os verdadeiros desafios por trás, etc) e sobre REEE (seus potenciais problemas e as vantagens da sua reciclagem e coleta adequada).
9	6	Lixeiras especiais espalhadas por locais estratégicos / PEVs (Pontos de entrega voluntária).
10	7	Participação pública que fomente a ampliação do conhecimento e consciência sobre descarte adequado de REEE.

Fonte: o autor (2020)

Durante todo o processo, as interações com o decisor foram fundamentais. A troca de informações permitiu o aprofundamento das discussões e levou a reflexões importantes para o contexto da decisão. O software usado no processo também fornece o intervalo de valores para as constantes de escala em ordem decrescente, fornecendo os valores mínimo e máximo que cada constante pode assumir, ao contrário do procedimento de *tradeoff* tradicional que encontra valores exatos. Além disso, indica o valor da constante de escala que maximiza o valor geral da

alternativa. O espaço de pesos obtidos ao final da elicitação pode ser visualizado pela Figura 15.

Figura 15 - Intervalo de valores para constantes de escala



Fonte: o autor (2020)

Analisando os valores, pode-se observar que o espaço de pesos não é grande entre a maioria dos critérios (a Tabela 5 traz os limites máximos e mínimos de cada critério). Isso é uma consequência da quantidade de ciclos para resolução do problema, pois quanto mais perguntas são respondidas, mais o espaço de pesos tende a diminuir. Nesse caso foram 14 perguntas respondidas. Mesmo assim, De Almeida et al. (2016) afirmam que isso não significa que o resultado não é útil, uma vez que ele está de acordo com a estrutura de preferências do decisor.

Tabela 5 – Valores dos espaços de pesos das constantes de escala

	Limite mínimo	Limite máximo
K_{C5}	0,748401	1
K_{C1}	0	0,2
K_{C6}	0	0,047619
K_{C7}	0	0,011765
K_{C3}	0	0,002933
K_{C2}	0	0,001464
K_{C4}	0	0,000732
K_{C9}	0	0,000366
K_{C8}	0	0,000365
K_{C10}	0	0,000183

Fonte: o autor (2020)

O próximo tópico argumenta algumas informações a respeito dos desafios da coleta de REEE pontuadas pelo decisor. Elas foram obtidas a partir de um formulário de perguntas (disponível no Apêndice A) respondido pelo decisor antes do processo FITradeoff.

5.4.3 Considerações finais sobre a aplicação do modelo

A aplicação do modelo proporcionou uma análise mais prática da proposta do modelo. Dessa forma, a participação de um decisor com *know-how* na área possibilitou não só desenvolver a aplicação, mas também obter comentários que coincidiram com diversos problemas observados na revisão sistemática da literatura. O decisor comentou, por exemplo, que atualmente um dos principais problemas enfrentados no contexto da coleta de REEE é a falta de demanda para esse tipo de resíduo, o que implica em desafios para se estabelecer maneiras financeiramente sustentáveis de fazer sua coleta. Outro ponto comentado é que não são desenvolvidas muitas ações para melhorar o nível de coleta, sendo mais comum apenas algumas campanhas pontuais a partir de comunidades acadêmicas ou de Organizações não Governamentais (ONG's). Nesse sentido, todas as alternativas do ranking são possíveis de trazer resultados positivos.

O decisor também pontuou alguns desafios do setor para desenvolver as atividades de coleta, como: a falta de rastreamento dos EEE; a falta de quantidade que justifique o transporte; falta de licenciamento ambiental para o manejo dos REEE, alguns são perigosos; falta de conscientização da população; cultura da doação e venda ao mercado secundário (própria de países em desenvolvimento); e a cultura de manter em casa os REEE por medo de sequestro de dados.

De forma geral, a construção do modelo foi satisfatória e atendeu às expectativas do trabalho. Através da revisão sistemática e bibliométrica da literatura, percebeu-se lacunas para serem exploradas, como a utilização de pesquisa operacional com sistemas de gerenciamento de coleta de REEE. Dessa maneira, esse trabalho incrementa essa lacuna e contribui para a literatura sugerindo um modelo multicritério e sua aplicação que fornece uma ordem de alternativas que auxiliam na coleta e gestão de REEE.

Portanto, o modelo proposto é incluído de alternativas e critérios importantes que podem ser utilizados em trabalhos futuros e em aplicações que apoiem gestores públicos na tomada de decisão, auxiliando na estrutura desse processo e buscando contribuir para a resolução de um problema que existe e que se tem pouco conhecimento e muitas barreiras para serem abordadas.

As recomendações de Acordo Setorial e EPR estão dispostas no próximo capítulo, no item 6.1 que traz as conclusões para o trabalho e para a aplicação apresentada.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Esse trabalho apresentou a construção de um modelo de decisão multicritério e sua aplicação com o objetivo de obter um *ranking* de alternativas e fazer recomendações que podem ser utilizadas em decisões relacionadas ao gerenciamento da coleta de REEE, considerando aspectos de EPR e Acordo Setorial. Para isso, foram estabelecidos alguns objetivos específicos para alcançar esse objetivo principal.

O primeiro deles foi o desenvolvimento da revisão da literatura e análise bibliométrica que trouxe informações importantes de publicações envolvendo coleta e gerenciamento de REEE. Notou-se, por exemplo, que os trabalhos mais importantes trazem discussões a respeito das responsabilidades pelo lixo eletrônico, a aplicabilidade de EPR, as barreiras enfrentadas com políticas regulatórias e a preocupação com o destino apropriado a esse tipo de resíduo.

Destaca-se ainda que a revisão da sistemática literatura mostrou importantes números relacionados a autores e publicações mais relevantes no contexto da coleta e gerenciamento de REEE. Observou-se uma tendência de crescimento nos estudos sobre resíduos eletroeletrônicos devido a preocupação de governos, partes interessadas e população em abordar melhor o gerenciamento desses resíduos e alcançarem suas metas de desempenho sustentável.

Além disso, percebeu-se que todo o processo de gerenciamento de REEE depende muito de um volume de coleta considerável para que todo o restante do processo se torne sustentável financeiramente. A etapa de coleta é primordial no processo de gerenciamento de REEE pois impactará diretamente em outras etapas do processo, como: transporte, disposição e reciclagem. A escolha do estudo voltado para a coleta é baseada não só nessa justificativa, mas também na observação da lacuna percebida referente a trabalhos que envolvam a pesquisa operacional e a gestão de coleta de REEE. Dessa forma, esse trabalho é um importante incremento à literatura e no auxílio para o planejamento da coleta feita pelas prefeituras e outras instituições públicas no Brasil.

A revisão sistemática também possibilitou a identificação de outras lacunas que podem ser importantes para direcionamento de trabalhos futuros, como por exemplo: trabalhos que tragam propostas específicas para melhorar as tecnologias de reciclagem eletrônica em termos de eficiência, acessibilidade e desempenho ambiental que lidem com a complexidade do lixo eletrônico; e trabalhos que possam abordar possíveis mudanças nos padrões de consumo,

sugerindo alternativas e cenários que possam ser avaliados por cidadãos, órgãos públicos e instituições privadas.

O segundo objetivo específico foi relacionado ao levantamento dos modelos de apoio a decisão no contexto de sistemas de gerenciamento de REEE, bem como os critérios associados a esses trabalhos. Para isso, utilizou-se como base o trabalho de Silva et al. (2018), no qual mostrou 60 publicações envolvendo multicritério e REEE, entre 2008 e 2018, no mundo. Esse levantamento também possibilitou conhecer os critérios mais usuais e as quatro categorias principais em que são divididos: social, ambiental, econômica e técnica.

Notou-se também que os critérios são ligados a problemática do gerenciamento de REEE de uma forma geral, e não são diretamente associados à etapa de coleta. Isso possibilitou a adaptação dos critérios para o contexto deste trabalho para que dessem mais fluidez na interação e na proposição do modelo estruturado para problemas ligados à coleta de REEE.

Com relação ao terceiro objetivo específico, que consistiu em identificar as lacunas em trabalhos com modelos de apoio a decisão usados no contexto de gestão de REEE, foi observado através de um levantamento dos trabalhos publicados, que não existe pesquisas publicadas usando o método *FITradeoff*. Aproveitando essa lacuna, este trabalho utilizou um modelo multicritério flexível de ordenação que diminui o esforço cognitivo do decisor durante os *Tradeoffs* e não descarta no resultado final outras alternativas avaliadas que também poderiam ser aplicadas em conjunto na solução do problema em questão.

O quarto e último objetivo específico tratou de levantamento de alternativas dentro da perspectiva de sistemas de coleta de REEE. Elas foram selecionadas com base em estudos que discutem problemas e soluções referentes à temática e outros trabalhos que relacionaram as principais barreiras associadas a implementação da logística reversa no Brasil e no mundo. O estudo de alternativas voltadas ao gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos é fundamental para o meio ambiente e necessárias para auxiliar em melhor dispor esses resíduos que têm crescido de forma acentuada nos últimos anos.

Essas alternativas formam opções importantes e viáveis para o contexto atual do Brasil e podem ser úteis para auxiliar profissionais do setor público que necessitem de auxílio na tomada de decisão na perspectiva da coleta de REEE. Sugeridas as alternativas e critérios, o próximo passo foi utilizar um modelo de tomada de decisão, que são importantes ferramentas que auxiliam na resolução de diversos problemas. Escolheu-se então, o método *FITradeoff* (DE ALMEIDA et al., 2016) para aplicação nesse trabalho.

O método se mostrou propício pois atendia a todas as características do problema e do decisor, por não ter disponibilidade em dispendir tempo e esforço cognitivo, sendo o mais indicado. Através da utilização de um SAD foi possível executar o método e obter o *ranking* das alternativas. Dessa forma, o objetivo da construção do modelo foi atendido, uma vez que é possível, através dos resultados, apoiar decisões de políticas da gestão de sistemas de coleta de resíduos eletroeletrônicos, em relação às preferências do decisor, para sugestão de implementação.

Com relação as recomendações de EPR e Acordo setorial intrínsecos ao modelo, o que se deve considerar, no contexto da pesquisa, é que fabricantes passem a ter mais responsabilidade na concepção e na rastreabilidade do produto, para garantir de maneira efetiva sua recuperação após o descarte.

De acordo com algumas considerações do decisor participante da aplicação do modelo, o mais comum são somente algumas ações relacionadas a pontos de coleta, mesmo assim desenvolvidas por ONGs e por algumas poucas empresas privadas, o que tem um impacto ainda muito pequeno na coleta. Outro aspecto comentado é que essas ações normalmente não envolvem acordos entre várias partes responsáveis. Pensando nisso, algumas sugestões podem ser pontuadas, como: contribuir com recursos financeiros e transferir automaticamente a responsabilidade pela gestão e recuperação das embalagens para entidades gestoras públicas ou privadas; embutir no preço final do produto o custo de sua recuperação após o descarte, para serem utilizados nos processos de coleta seletiva e separação das embalagens.

Isso é basicamente o que o traz a PNRS em seu conceito de responsabilidade compartilhada, que inclui mecanismos de incentivo para que os fabricantes busquem continuamente melhorias em seus produtos e processos, responsabilizando-os pelos impactos ambientais de todo o ciclo de vida do produto. Apesar desse conceito estabelecido pela PNRS, sabe-se que nessa temática, cidadãos, poder público e instituições privadas em conjunto podem fornecer resultados mais eficazes no gerenciamento desses resíduos. Por isso recomenda-se o Acordo Setorial com o objetivo de estabelecer um processo participativo envolvendo fabricantes, recicladores, varejo e consumidores e cooperativas de catadores, reforçando a dimensão social da PNRS.

Em síntese, o modelo multicritério proposto permitiu alcançar o objetivo proposto pelo trabalho com recomendações para apoiar decisões relacionadas a coleta de REEE. Sua aplicação foi uma importante ferramenta de exemplo e proporciona uma abordagem mais prática e realista do problema, pois tem auxílio de um decisor experiente e com *know-how* para

contribuir com o trabalho, para propor sugestões e comentar outros problemas do setor. Além disso, também foram alcançados os quatro objetivos específicos propostos.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Essa pesquisa deixa alguns gatilhos para o desenvolvimento de outros trabalhos dentro da temática. Por exemplo, o comparativo entre o impacto da coleta trazido por algumas alternativas, como entre a implementação de lixeiras especiais em locais estratégicos e a coleta pela prefeitura com agendamento. Outras alternativas desse trabalho são também interessantes pesquisas, como: estudar a dinâmica de incentivos financeiros oferecidos às pessoas que pretendem descartar REEE; e fazer um estudo para avaliar a preferência das pessoas para o descarte de determinados produtos e a partir delas propor estratégias de coleta.

Outros desafios no setor também carecem de pesquisas, como: custos associados a coleta e gerenciamento de REEE; proposição de formas de rastreabilidade dos REEE; nível de conscientização da população com relação a temática; estudo sobre a cultura, hábitos e crenças mais comuns ligadas ao descarte desses itens pela população; melhorarias nas tecnologias de reciclagem eletrônica em termos de eficiência, acessibilidade e desempenho ambiental que lidem com a complexidade do lixo eletrônico; e trabalhos que possam abordar possíveis mudanças nos padrões de consumo, sugerindo alternativas e cenários que possam ser avaliados por cidadãos, órgãos públicos e instituições privadas

REFERÊNCIAS

- ABDI. *Reverse Logistics of Electrical and Electronic Equipment - Technical and Economic Viability Analysis*. 2013.
- ABELPRE. Overview of Solid Waste in Brazil , <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>> , 2015.
- ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica. *A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade*. Brasília, 2017. 62 p.
- ABNT. NBR 10.004: (2004a). *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 71 p.
- ABRELPE. *Overview of Solid Waste in Brazil 2015* (Panorama dos resíduos sólidos no brasil 2015), 2016.
- ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; AIDONIS, D.; MOUSSIOPOULOS, N.; IAKOVOU, E.; BANIAS, G. Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment. *Waste Manag.* 30, 2592–2600. 2010.
- AIDAR, G. G. O.; DE ALMEIDA, A. T.; KANG, T. H. A.; FERREIRA, R. J. P. Análise de localização de uma empresa de serviços: uma proposta baseada no método fitradeoff, 2017.
- AL RAZI, Khandakar Md Habib. Resourceful recycling process of waste desktop computers: a review study. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 110, p. 30-47, 2016.
- ALEXANDRE, J. W. C. *Uma investigação das práticas da gestão da qualidade total no setor manufatureiro do estado do Ceará*. 1999. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1999.
- ALMEIDA, A.T. *Processo de Decisão nas Organizações*. Construindo modelos de multicritério – São Paulo: Atlas, 2013.
- ALVES, M. A.; SOUZA, L. T. F. Método Multicritério TOPSIS Aplicado à Satisfação de Usuários de Smartphones com os Sistemas Operacionais Android, iOS e Windows Phone, *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, v. 20, p. 2–9. 2017.
- American Psychological Association. *Manual de Publicação da American Psychological Association*. (4ª ed.). Porto Alegre: Artmed. 2001.
- ANATEL. Números do setor, 2012. Disponível em: . Acesso em: 12 out. 2020.
- ANDRADE, C. T. A; GUSMAO, A. P. H.; SILVA, W. *Aplicação do método Fittradeoff para seleção de projetos wcm em uma indústria pernambucana*. [S. l.], 2018.
- ANDRADE, F. S. De, EDUARDO, C., ALBUQUERQUE, P. De; ALENCAR, M. H. FERREIRA, R. J. P. *Análise multicritério como ferramenta de inteligência para mitigação de riscos estratégicos da polícia federal*. 2018.

ARAUJO, U.R.; OLIVEIRA, F.A.S.; MARINS, J.; MUNIZ, Jr. Cost assessment and benefits of using RFID in reverse logistics of waste electrical & electronic equipment (WEEE). *Procedia Comput. Sci.*, 55 (2015), pp. 688-697, 2015.

ARIA, M. & CUCCURULLO, C. (2017) bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, 11(4), pp 959-975, Elsevier.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. (2014). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014*. São Paulo. 2014.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. (2011). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2011*. São Paulo. 2011.

ATHAWALE, V. M.; CHAKRABORTY, S. *Facility Location Selection using PROMETHEE II Method*, International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dhaka, IEOM, Bangladesh. 2010.

AWASTHI, K.A.; ZENG, X.; LI, L. Environmental pollution of electronic waste recycling in India: a critical review. *Environ. Pollut.*, v. 211, p. 259-270. 2016.

BACCINI, P.; BRUNNER, P. *Metabolism of the Anthroposphere : Analysis, Evaluation, Design* The MIT Press. 2012.

BADRI, M. A.; DONALD, D.; DONNA, D. A study of measuring the critical factors of quality management. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 12, n. 2, p. 36-53, 1995.

BALDÉ et al., *The Global e-waste Monitor*. UNU, ITU, ISWA. Bonn, Geneva, Vienna, 2017.

BALDÉ, C.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources*. 2017.

BANCO MUNDIAL. *Sem perder Oportunidade: O caso de gerenciamento de eletrônicos no Brasil*. 2012.

BARBIERI, J. C. *Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 3ª Ed. Atual e ampliada. – São Paulo: Saraiva, 2011.

BARBOSA, Roberta; FONTE, Maria Isabel Suassuna da; DE ALMEIDA, Adiel T.. Utilização do fitradeoff web-based para escolha de localização de um centro comunitário na cidade do Recife. In: L simpósio BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/utilizacao-do-fitradeoff-web-based-para-escolha-de-localizacao-de-um-centro-comunitario-na-cidade-do-recife>> Acesso em: 24 abr. 2020.

BATISTA, V. F. As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: Onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis? *RAP-Revista de Administração Pública*, 49(1), 141-164. doi:10.1590/0034-76121603, 2015.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R.B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *Eur. J. Oper. Res.* 200, p. 198–215. 2010.

BELTON, V.; STEWART, T. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. *Springer Science & Business Media.* 2002.

BERGERA, J. M.; BAKERB, C. M. Bibliometrics: An overview. *RGUHS Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 4, n. 3, p. 81-92, 2014.

BÉRRIOS, Manuel. *Consumismo e Geração de Resíduos Sólidos*. GEOUSP. São Paulo: nº 6, p.17-28, 2009.

BETTS, K. Producing usable materials from e-waste. *Environmental Science Technology*. Iowa, v. 42, n. 18, p. 6782–6873, 2008.

BEZERRA, Paulo Ayran; ROSENBLUTH, Renato. Aplicação do método multicritério fitradeoff para escolha de sistema automatizado de identificação biométrica - abis da polícia federal, uma análise de requisitos. In: I simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/aplicacao-do-metodo-multicriterio-fitradeoff-para-escolha-de-sistema-automatizado-de-identificacao-biometrica---abis-da->> Acesso em: 24 abr. 2020.

BOTELHO, Tomás de Aquino Tinoco et al. Aplicação do método multicritério fitradeoff para escolha de obuseiro para batalhão de artilharia de fuzileiros navais. *anais do XLIX SBPO*, 2017.

BOUZON, M.; GOVINDAN, K.; RODRIGUEZ, C.M.T.; CAMPOS, L.M.S. Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. *Resour. Conserv. Recycl*, v. 108, p. 182-197. 2016.

BRASIL, 2010. *Política Nacional de Resíduos - PNRS*. Lei n. 12.305, Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2. ed., p. 73 2002.

BRASIL. Decreto-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. *Diário Oficial* [da República Federativa do Brasil], Brasília, Seção 1, p.20, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2010a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento. *Study Evaluates Implementation of the Reverse Logistics of Consumer Electronics in Brazil*, Industry and Trade Foreign, 2013.

BRASIL. *Plano nacional de saneamento básico*. Brasília: Ministério das Cidades, 220 p.

CABRAL, E. L. S.; CASTRO, W.; FILGUEIRA, L.; CÂMARA, J. M. D. A.; SOUZA, R. P. Aplicação dos métodos ahp e fitradeoff ranking para ordenação das alternativas de contratação de jogadores de futebol em um clube norte-rio-grandense., 2018. Doi: 10.14488/enegep2018_tn_sto_263_510_36382

CAIADO N., GUARNIERI P., XAVIER L. H., CHAVES G., 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, p. 47–59, 2017.

CALDAS, P. K. M. *Síntese de nanopartículas de prata a partir de reciclagem de placas de circuito impresso*. 2017. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

CALDERONI, S. *Os bilhões perdidos no lixo*. 6. ed. São Paulo: Humanitas. p. 346. 2015.

CAMILO, Deyse Gillyane Gomes et al. Análise multicritério na área da saúde: seleção do sistema de triagem mais adequado para as unidades de pronto atendimento em natal. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2020.

CAO, J.; CHEN, Y.; SHI, B.; LU, B.; ZHANG, X.; YE, X.; ZHAI, G.; ZHU, C.; ZHOU, G. WEEE recycling in Zhejiang Province, China: generation, treatment, and public awareness. *Journal of Cleaner Production*, Volume 127, Pages 311-324. 2016.

CARUARU. *Revisão do plano de saneamento básico setorial para a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos do município de caruaru*. Prefeitura Municipal de Caruaru. Equipe Técnica de Projetos Ambientais, 2017.

CARUARU. REVISÃO DO PLANO DE SANEAMENTO BÁSICO SETORIAL PARA A LIMPEZA URBANA E O MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CARUARU. Prefeitura Municipal de Caruaru. Equipe Técnica de Projetos Ambientais, maio de 2018.

CASADO, Ramon Swell Gomes Rodrigues; RODRIGUES, Lorena Vieira Santos; CARVALHO, Edinalva Nogueira de; Maisa Mendonça SILVA. Apoio a decisão multicritério na priorização de fornecedores: aplicação do método fitradeoff de ordenação no setor de confecção . In: li simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/apoio-a-decisao-multicriterio-na-priorizacao-de-fornecedores--aplicacao-do-metodo-fitradeoff-de-ordenacao-no-setor-de-co?lang=pt-br>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

CASTRO, D.E. *Tecnologias de recuperação térmica e energética de resíduos sólidos*. CEFET MG. Belo Horizonte, 2015.

CASTRO, M. A. S. de. *Diagnóstico da gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e proposta de modelo em um contexto de green supply chain management*. 2014. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CHATTERJEE, P.; ATHAWALE, V. M; CHAKRABORTY, S. Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods, *Materials & Design*, v. 32(2), p. 851–860. 2011.

CHEN, W.-C.; HONG, I.-H. Selecting an e-scrap reverse production system design considering multi-criteria and uncertainty. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*. v. 30(4), p. 326–332. 2008.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. *Acervo*. 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_collection&mn=70&smn=79&-cid=81>. Acesso em: 01 out. 2017. DAL-SOTO, F.; ALVES, J.

COSSU, R.; WILLIAMS, I.D. Urban mining: concepts, terminology, challenges. *Waste Manag.*, v. 45, p. 1-3. 2015.

COSTA, F. J. *Mensuração e desenvolvimento de escalas: aplicações em administração*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

CUCCHIELLA, F., D'ADAMO, I., LENNY KOH, S.C., ROSA, P., 2015. Recycling of WEEEs: an economic assessment of present and future e-waste streams. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 51, 263–272.

CUNHA, Carla Patrícia Cintra Barros da; MOTA, Caroline Maria de Mota; DE ALMEIDA, Adiel T. Aplicação do FITradeoff para ordenação das operações policiais especiais da Polícia Federal em determinado cenário.. In: LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/aplicacao-do-fitradeoff-para-ordenacao-das-operacoes-policiais-especiais-da-policia-federal-em-determinado-cenario-?lang=pt-br>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

DA SILVA MONTE, Madson Bruno; MORAIS, Danielle Costa. A Decision Model for Identifying and Solving Problems in an Urban Water Supply System. *Water Resources Management*, v. 33, n. 14, p. 4835-4848, 2019.

DA SILVA, Fabio Henrique Rodrigues et al. USO DO MÉTODO FITRADEOFF EM ANÁLISE DE INVESTIMENTOS. *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO*. Blumenau-SC, 27 a 30 de Agosto de, 2017.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A robustness study of state-of-the-art surrogate weights for MCDM. *Group Decision and Negotiation*, v. 26(4), p. 677-691. 2017

DAVIS, J.M., GARB, Y. A model for partnering with the informal e-waste industry: Rationale, principles and a case study. *Resour. Conserv. Recycl.* 105, 73–83, 2015. doi:10.1016/j.resconrec.2015.08.001.

DE ALMEIDA-FILHO, Adiel T.; DE ALMEIDA, Adiel T.; COSTA, Ana Paula CS. A flexible elicitation procedure for additive model scale constants. *Annals of Operations Research*, v. 259, n. 1-2, p. 65-83, 2017

DE ALMEIDA, A. T.; FERREIRA, R. J. P.; BELDERRAIN, M. C. N.; MONDADORI, J. A. P. *Escolha de serviços de eficiência energética com informações parciais em indústrias de alimentos*. 2018.

DE ALMEIDA, A. T.; KANG, T. H. A.; Método fitradeoff para problemática de classificação. *anais do XLIX SBPO*, 2017.

DE ALMEIDA, Adiel Teixeira et al. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, Adiel Teixeira; ROSELLI, Lucia Reis Peixoto. Visualization for decision support in FITradeoff method: exploring its evaluation with cognitive neuroscience. In: *International Conference on Decision Support System Technology*. Springer, Cham, 2017. p. 61-73.

DE ALMEIDA, J. A.; SILVA, J. D. P.; Aplicação de modelo de apoio à decisão multicritério com fitradeoff no processo de seleção de fornecedores na cadeia de suprimentos de uma empresa do setor avícola. *anais do XLIX SBPO, 2017*.

DE AQUINO, I.R.B.; SILVA, L. Proposição de um modelo matemático para localização de pontos de coleta de resíduos elétricos e eletroeletrônicos . In: LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, GALOÁ, 2019.

DE BRIDA, Isabel Conceição. LOGÍSTICA REVERSA DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: UMA ANÁLISE DO SISTEMA NO BRASIL. *Tecnologia e Ambiente*, v. 25, p. 110-133, 2019.

DE GUSMÃO, Ana Paula Henriques; DE CARVALHO HOLANDA, Nathalia Ellen. Aplicação do método fitradeoff para avaliação de alternativas de tecnologia e sistemas de informação em uma indústria alimentícia. *Anais SBPO, 2017*.

DE MACEDO, Perseu Padre; DE MIRANDA MOTA, Caroline Maria; SOLA, Antonio Vanderley Herrero. Meeting the Brazilian Energy Efficiency Law: A flexible and interactive multicriteria proposal to replace non-efficient motors. *Sustainable cities and society*, v. 41, p. 822-832, 2018.

DE OLIVEIRA, C.R.; BERNARDES, A.M.; GERBASE, A.E. Collection and recycling of electronic scrap: a worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. *Waste Manag.*, v. 32, p. 1592-1610. 2012.

DE SOUZA, RG, et al. Avaliação de sustentabilidade e priorização de opções de gerenciamento de lixo eletrônico no Brasil. *Gestão de Resíduos*. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.034>

DE SOUZA, Ricardo Pires; CABRAL, Eric Lucas dos Santos; CASTRO, Wilkson; MOTTA, Filippi. Análise do fitradeoff de ordenação para contratação de jogadores de futebol: estudo de caso em dois clubes potiguares. In: 1 simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/analise-do-fitradeoff-de-ordenacao-para-contratacao-de-jogadores-de-futebol%3A-estudo-de-caso-em-dois-clubes-potiguares>> Acesso em: 24 abr. 2020.

DELL'OVO, Marta et al. Multicriteria decision making for healthcare facilities location with visualization based on FITradeoff method. In: *International Conference on Decision Support System Technology*. Springer, Cham, 2017. p. 32-44.

DEMAJOROVIC, J.; MIGLIANO, J. E. B. Política nacional de resíduos sólidos e suas implicações na cadeia da logística reversa de microcomputadores no Brasil. *Gestão & Regionalidade*, v. 29, n. 87, p. 64-80, 2013.

DENIS, R. R. M.; VETTORAZZI, K. M. Responsabilidade social e ambiental das empresas: a aplicação do princípio da responsabilidade estendida do produtor na busca pela sustentabilidade ambiental. Curitiba, 2011.

DESHMUKH, S.; GUPTA, R.; AGRAWAL, V.S. Improving the Solid Waste Management by Developing the Peoples Perception – a Case Study. *International Waste Management Biennial Congress & Exhibition*. 2002.

DOMINGUES, G. S.; GUARNIERI, P.; STREIT, J. A. Princípios e instrumentos da política nacional de resíduos sólidos: Educação ambiental para implementação da logística reversa, *Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade*, vol. 2, No. 1, p. 191-216. 2016.

DULLIUS, T. L. *Análise da Logística Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos em Assistências Técnicas na Cidade de Lajedo – RS*. 97f. Monografia (Engenharia Ambiental) - CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES. 2015.

E SILVA, Lucio Camara et al. Selection of an Integrated Security Area for locating a State Military Police Station based on MCDM/A method. In: *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. IEEE, 2019. p. 1530-1534.

ECHEGARAY, F.; HANSSTEIN, F.V. Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil, *J. Clean. Prod.*, v. 142, p. 180-190. 2017.

ELKINGTON, J. *Sustentabilidade, Canibais com Garfo e Faca*. São Paulo: M. Books do Brasil, 2012.

ENSSLIN, L. et al. Avaliação do Desempenho de Empresas Terceirizadas com o uso da Metodologia Multicritério em Apoio à Decisão - Construtivista. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 125-152, 2010a.

ENSSLIN, L. et al. Identificação das Necessidades do Consumidor no Processo de Desenvolvimento de Produtos: *Uma Proposta de Inovação Ilustrada para o Segmento Automotivo*. *Revista Produção*, v. 21, n. 4, p. 555-569, 2010b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132011005000052>

Erusa Cristina Guimarães de Medeiros; Luciana Alencar. Seleção de subcontratados na construção civil utilizando o fitradeoff. In: LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/selecao-de-subcontratados-na-construcao-civil-utilizando-o-fitradeoff?lang=pt-br>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

EU. DIRETIVA 2012/19/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. *Jornal Oficial da União Europeia*. Julho, 2012.

European Parliament. Directive 2012/19/EU of the European parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Off J Eur Union* 2012;L197:38–71.

FELIPE SCARPELLI DE ANDRADE; Carlos Albuquerque; Marcelo Hazin Alencar. Aplicação do método fitradeoff no modelo de análise de riscos estratégicos da polícia federal: uma análise compensatória com base nos valores. In: 1 simpósio brasileiro de pesquisa

operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/aplicacao-do-metodo-fittradeoff-no-modelo-de-analise-de-riscos-estrategicos-da-policia-federal%3A-uma-analise-compensatoria>> Acesso em: 24 abr. 2020.

FIGUEIREDO, Guilherme José Purvin de. *Relação de Consumo, Defesa da Economia e Meio Ambiente*. In: *Curso Interdisciplinar de Direito Ambiental*. Coord. Arlindo Philippi Jr. e Alaôr Caffé Alves. Barueri, Manole, 2005.

FONTANA, Marcele Elisa; SILVA, Wesley Douglas Oliveira; GARCEZ, Thalles Vitelli. Solução do problema de atribuição de locais em armazém através do método multicritério aditivo de elicitação flexível e interativo de tradeoff. In: I simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/solucao-do-problema-de-atribuicao-de-locais-em-armazem-atraves-do-metodo-multicriterio-aditivo-de-elicitacao-flexivel-e->> Acesso em: 24 abr. 2020.

FRANCO, L. A.; MONTIBELLER, G. Facilitated modelling in operational research. *European Journal of Operational Research*, v. 205, n. 3, p. 489-500, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.030>

FRANCO, L. A.; MONTIBELLER, G. Facilitated modelling in operational research. *European Journal of Operational Research*, v. 205, n. 3, p. 489-500, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.030>

FRANCO, R.G.F.; LANGE, L.C. Fluxo de lixo eletrônico na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. [Estimativa fazer fluxo dos Resíduos de Equipamentos eleiacute; Tricos e Eletrônicos nenhum município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil]. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16 (1), p. 73-82. 2011.

FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P.; ARAÚJO DE ALMEIDA, J.; DE ALMEIDA, A. T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.

FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. *Oper Res Int J*. 2019.

FREJ, Eduarda Asfora et al. A multicriteria decision model for supplier selection in a food industry based on FITradeoff method. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2017, 2017.

FREJ, Eduarda Asfora; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira; COSTA, A. P. FITradeoff na problemática de ordenação: modelagem e aplicação. *anais do XLIX SBPO*, 2017.

FREJ, Eduarda Asfora; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*, v. 19, n. 4, p. 909-931, 2019.

GANGWAR, C.; SINGH, A.; PAL, R.; KUMAR, A.; SHARMA, S.; TRIPATHI, A. Environmental susceptibility: soil contamination of heavy metals in the territory of e-waste recycling área. *Int. J. Plant Environ*, v. 3 (1), p. 25-31. 2017

GARCIA, C. O.; MOTTA, J. M. T.; CARVALHO, F. N. F.; RIBEIRO, R. C. S.; GOMES, S. M. S.; GOMES, W. A. Mapeamento de impactos sociais e ambientais: o caso de uma distribuidora de energia elétrica. *Anais do Congresso Internacional Sustentabilidade na Indústria Elétrica*, Medellín, Colombia, 2. 2011.

GERAGHTY, K. An update on the WEEE and RoHS directives. *Circuit World*, [S.L], v. 33, n. 2, p. 51-52, abr. 2003.

GHISOLFI, V.; DINIZ CHAVES, G. de L.; RIBEIRO SIMAN, R.; XAVIER, L.H. System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: a perspective for social inclusion of waste pickers. *Waste Manag.*, v. 60, p. 14-31. 2017.

GLANZEL, W. Bibliometrics as a research field a course on theory and application of bibliometric indicators. 2003.

Gonzaga, L., Leao, C., Jose, R., Ferreira, P., & Teixeira, A. APLICAÇÃO DO MÉTODO SUPRIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR. 2016.

GOODSHIP, V.; STEVELS, A. Waste electrical end electronic equipment (WEEE) handbook. Cambridge: *Woodhead Publishing Limited*, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780857090898>>.

Gracielle Maria de Moura; Rodrigo José Pires Ferreira. Priorização de ordens de serviço de manutenção em uma indústria de plásticos utilizando o método fitradeoff. In: 1 simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/priorizacao-de-ordens-de-servico-de-manutencao-em-uma-industria-de-plasticos-utilizando-o-metodo-fitradeoff>> Acesso em: 24 abr. 2020.

GU, Y; WU, Y; XU, M; WANG, H; ZUO, T. The stability and profitability of the informal WEEE collector in developing countries: A case study of China. *Resour Conserv Recy.* v. 107, p. 18–26. 2016.

GU, Yifan et al. Reciclagem de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE) para um suprimento sustentável de recursos na indústria de eletrônicos na China. *Journal of Cleaner Production* , v. 127, p. 331-338, 2016.

GUARNIERI, P. *Logística reversa: em busca do equilíbrio econômico e ambiental*. 2. ed. São Paulo: Clube de autores, 2011.

GUARNIERI, P.; SILVA, L.C.; LEVINO, N.A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: a Brazilian case. *J. Clean. Prod.*, v. 133, p. 1105-1117. 2016.

GUARNIERI, Patricia; SILVA, Lucio Camara e; LEVINO, Natallya A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case, *Journal of Cleaner Production*, Volume 133, 2016, Pages 1105-1117, ISSN 0959-6526,

GUPTA, A.; HANDFIELD, R. “Creating a global supply chain strategy: application of the supply chain maturity model”, in Keillor, B.D. (Ed.) *International Business in the 21st Century*, Vol. 3, Santa Barbara, CA, pp. 219-244, 2011.

GUSMÃO, A. P. H.; MEDEIROS, C. P. A Model for selecting a strategic information system using the FITradeoff. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(2): 1-7, jan. 2016.

GUSMÃO, A. P. H.; MEDEIROS, C. P. A model for selecting a strategic information system using the FITradeoff. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.

HELMANN, K. S.; MARÇAL, R. F. M. Método Multicritério de Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção: Aplicação do Método ELECTRE I na Seleção de Equipamentos Críticos para Processo. *Gestão Industrial*, v. 3, n. 1, p. 123-133, 2007.

HELMANN, K. S.; MARÇAL, R. F. M. Método Multicritério de Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção: Aplicação do Método ELECTRE I na Seleção de Equipamentos Críticos para Processo. *Gestão Industrial*, v. 3, n. 1, p. 123-133, 2007.

HENING, Mordecai I.; BUCHANAN, John T. Decision making by multiple criteria: a concept of solution. Portugal: 1994. Disponível em: <<http://www.mngt.waikato.ac.nz/jtb/procon.htm>>. Acesso em: 06 ago 2014.

HENRIQUES DE GUSMAO, Ana Paula; PEREIRA MEDEIROS, Cristina. A model for selecting a strategic information system using the FITradeoff. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2016, 2016.

Hicks, C., Dietmar, R., Eugster, M. The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China – legislative and market responses. *Environmental Impact Assessment Review* 25 (5), 459–471. 2005.

HSU-SHIH SHIH, E.; STANLEY LEE, S-H C; CHIAU-CHING, C. A forecasting decision on the sales volume of printers in Taiwan: An exploitation of the Analytic Network Process, *Computers & Mathematics with Applications*, Volume 64, Issue 6. Pages 1545-1556. 2012

HSU, C.-W.; HU, A.H. Applying hazardous substance management to supplier selection using analytic network process. *Journal of Cleaner Production*. v. 17 (2), p. 255–264. 2009.

HSU, Chia Wei; HU, Allen H. “Applying hazardous substance management to supplier selection using analytic network process”. *Journal of Cleaner Production* 17(2): 255–64, 2009.

IBGE. Divisão regional. In: *Atlas nacional do Brasil Milton Santos / IBGE, Diretoria de Geociências*. [s.l: s.n.]. p. 51–57. 2011.

IDC. Mercado brasileiro de celular atinge a marca de 27,3 milhões de unidades vendidas no primeiro semestre deste ano, revela estudo da IDC, 2012.

IKHLAYEL, M. Environmental impacts and benefits of state-of-the-art technologies for E-waste management. *Waste Management*, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores em 2011*. IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. - Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (ED.). *Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO ETHOS. *Política Nacional de Resíduos Sólidos: desafios e oportunidades para as empresas*. Grupo de Trabalho de Resíduos Sólidos do Fórum Empresarial de Apoio à Cidade de São Paulo. ETHOS: São Paulo, agosto de 2012.

ISLAM, Md. T.; HUDA, N. Material flow analysis (MFA) as a strategic tool in E-waste management: Applications, trends and future directions, *Journal of Environmental Management*, Volume 244, Pages 344-361, ISSN 0301-4797. 2019.

J. YU, E. WILLIAMS, M. JU, C. SHAO. *Managing WEEE in China: policies, pilot projects and alternative approaches*. Resour. Conserv. Recy., 54, pp. 991-999. 2010.

JACOBI, P.R.; BESEN, G.R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estud. av.*, São Paulo, Vol. 25, n. 71, p. 135-158. 2011.

JACSO, P. As we may search – Comparison of major features of the Web of Science, Scopus and Google Scholar citation-based and citation-enhanced databases. *Current Science*, v. 89, n.9, p. 1537-1547, Nov. 2005.

JAYARAMAN, V; LUO, Y. Creating competitive advantages through new value creation: e reverse logistics perspective. *Academy Management Perspective*, New York, v. 1, n. 2, p. 56-73, maio 2007.

JIN, C.L.; QIU, J.; ZHANG, Y.; QIU, W.; HE, X.; WANG, Y.; SUN, Q.; LI, M.; ZHAO, N.; CUI, H.; LIU, S.; TANG, Z.; CHEN, Y.; LI YUE DA, Z.; XU, X.; HUANG, H.; LIU, Q.; BELL, M.L.; ZHANG, Y. Ambient air pollution and congenital heart disease in Lanzhou. *Environ. Res. Lett.*, v. 111, p. 435-441. 2015.

KANG, Takanni Hannaka Abreu; JÚNIOR, Antônio Marques da Costa Soares; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Evaluating electric power generation technologies: A multicriteria analysis based on the FITradeoff method. *Energy*, v. 165, p. 10-20, 2018.

KAZA, S. et al. *WHAT A WASTE 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, 2018

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. Decision making with multiple objectives, preferences and value tradeoffs. *Wiley*, New York. 1976.

KHETRIWAL, D.S., KRAEUCHI, P., WIDMER, R. Producer responsibility for e-waste management: key issues for consideration – learning from the Swiss experience. *Journal of Environmental Management* 90 (1), 153–165. 2009.

KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M.H. *Electronic waste management approaches: An overview*. *Waste Manag*, v. 33, p. 1237–1250. 2013.

KIDEE P.; NAIDU R.; WONG M.H. Electronic waste management approaches: an overview. *Waste Management*, vol. 33, p. 1237-1250. 2013.

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

KIM, M; JANG, Y. C.; LEE, S. Application of delphi-ahp methods to select the priorities of weee for recycling in a waste management decision-making tool. *Journal of environmental management*. Vol: 128. P. 941-948, 2013.

KRÓL, A.; NOWAKOWSKI, P.; MRÓWCZYŃSKA, B. How to improve WEEE management? Novel approach in mobile collection with application of artificial intelligence. *Waste Management* 50: 222–233. 2016.

KUMAR, A., HOLUSZKO, M., ESPINOSA, D.C.R., 2017. E-waste: an overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resour. Conserv. Recycl* 122, 32 e 42. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018>.

KUO, R. J.; WANG, Y. C.; TIEN, F. C. “Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection”. *Journal of Cleaner Production* 18(12): 1161–70, 2010.

LABUSCHAGNE, C.; BRENT, A. C.; CLAASEN, S. J. Environmental and social impact considerations for sustainable project life cycle management in the process industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Malden, v. 12, p. 38–54, 2005.

LACERDA, N. L. B.; YOSHIURA, L. J. M.; MARTINS, C. L.; NETO, J. B. S. S.; et al. Seleção de um local para a expansão da rede de distribuição de gás natural: uma análise com o método fitradeoff de apoio à decisão. In: LI Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/selecao-de-um-local-para-a-expansao-da-rede-de-distribuicao-de-gas-natural--uma-analise-com-o-metodo-fitradeoff-de-apoio?lang=pt-br>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

LEI No 13.908, de 13 de novembro de 2009. Dispõe sobre a obrigatoriedade de empresas produtoras, distribuidoras e vendedoras de equipamentos de informática instaladas no Estado de Pernambuco, criarem e manterem programa de recolhimento, reciclagem e destruição de equipamentos de informática. *Diário Oficial do Estado*, Poder Executivo, Pernambuco, 14 de novembro de 2009, p.4, coluna 1. 2009 (b)

LEI No 15.084, de 6 de setembro de 2013. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de coletores de lixo eletrônico pelas empresas que comercializam pilhas, baterias e aparelhos eletrônicos de pequeno porte no Estado de Pernambuco, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, Poder Executivo, Pernambuco, 7 de setembro de 2013, p. 6, coluna 2. 2013

LEITE, P. R. *Logística Reversa: meio ambiente e competitividade*. 9. ed. São Paulo: Pearson. 2016.

LI, J., LIU, L., REN, J., DUAN, H., & ZHENG, L. Behavior of urban residents toward the discarding of waste electrical and electronic equipment: a case study in Baoding, China. *Waste Manage*, v. 11, p. 1187–1197, 2012.

LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues et al. Um modelo fuzzy-qfd para priorização de ações de gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. *Revista Produção Online*, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 713-742, jun. 2018. ISSN 16761901. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/2958/1676>>. Acesso em: 13 jan. 2020. doi:<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2958>.

LIMA, Eliana Sangreman; VIEGAS, Renan Alves; COSTA, Ana Paula Cabrai Seixas. A multicriteria method based approach to the BPMM selection problem. In: **2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. IEEE, 2017. p. 3334-3339.

LIMA, T. C. J. DE; CAVALCANTI, H. T.; GARCEZ, T. V. *Aplicação De Método Multicritério Fitradeoff No Processo De Seleção De Fornecedores Na Bacia Leiteira De Pernambuco*. [S. l.], 2018.

LINDHQVIST, T. Extended producer responsibility in cleaner production. IIIIEE Dissertation. 2000:2, Lund, Sweden. *The International Institute for Industrial Environmental Economics*, IIIIEE, Lund University; 2000.

LINDHQVIST, T. Extended producer responsibility in cleaner production. IIIIEE Dissertation. 2000:2, Lund, Sweden. *The International Institute for Industrial Environmental Economics*, IIIIEE, Lund University; 2000.

LONGARAY, ANDRE ANDRADE. *Introdução à pesquisa operacional*. Editora Saraiva, 2017.

LONGHI, Alexsandro Luis; PERGHER, Isaac; SCOLA, Yuri; Loss, Ana Paula. Um modelo fitradeoff para apoio à melhoria do desempenho operacional. In: 1 simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/um-modelo-fitradeoff-para-apoio-a-melhoria-do-desempenho-operacional>> Acesso em: 24 abr. 2020.

LOPEZ, A. C.; HORNOS, M. J.; CARRASCO, R. A.; VIEDMA, E. H.; SICTQUAL: A fuzzy linguistic multi-criteria model to assess the quality of service in the ICT sector from the user perspective. *Applied Soft Computing*, v. 37, p. 897-910, 2015.

LUO, C.; LIU, C.; WANG, Y.; LIU, X.; LI, F.; ZHANG, G.; LI, X. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China. *Journal of Hazardous Materials*, v.186, p.481-490, 2011.

LYRIO, M. V. L. et al. Construção de um Modelo de Avaliação de Desempenho da Secretaria de Desenvolvimento Regional da Grande Florianópolis: a Proposta da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista. 5. ed. Florianópolis: *Contextus*, 2007.

LYRIO, M. V. L. et al. Construção de um Modelo de Avaliação de Desempenho da Secretaria de Desenvolvimento Regional da Grande Florianópolis: a Proposta da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão Construtivista. 5. ed. Florianópolis: *Contextus*, 2007.

MACEDO, Perseu Padre de; MOTA, Caroline Maria de Miranda; SOLA, Antonio Vanderley Herrero. Modelo multicritério flexível e interativo para substituir motores não eficientes. In: L SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em:

<<https://proceedings.science/sbpo/papers/modelo-multicriterio-flexivel-e-interativo-para-substituir-motores-nao-eficientes>> Acesso em: 24 abr. 2020.

MACHI, Lawrence A .; MCEVOY, Brenda T. *A revisão da literatura: Seis etapas para o sucesso*. Corwin Press, 2016.

MANOMAIVIBOOL, P.; HONG, J.H. Two decades, three WEEE systems: how far did EPR evolve in Korea's resource circulation policy? *Resour. Conserv. Recycl.* v. 83, p. 202–212. 2014.

MAZON, M. T.; AZEVEDO, A. M. M.; PEREIRA, N. M.; SILVEIRA, M. A. Does Environmental Regulation Foster the Diffusion of Collaborative Innovations? A Study on Electronics Waste Regulation on Brazil. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 52, 259. 2012.

MCALLISTER, L. *The Human and Environmental Effects of E-waste*. 2013.

MENDES, J. M. A. *Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto na cadeia de resíduos Eletroeletrônicos*. Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Direito, da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

MENDES, Jéssica Alves Justo; DE ALMEIDA, Adiel T; FREJ, Eduarda; Jônatas Araújo de Almeida et al. Análise do método fitradeoff através de resultados de simulação em problemas de decisão multicritério. In: LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/analise-do-metodo-fitradeoff-atraves-de-resultados-de-simulacao-em-problemas-de-decisao-multicriterio?lang=pt-br>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

MENIKPURA, S.N.M.; SANTO A, HOTTA Y. Assessing the climate co-benefits from waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling in Japan. *J Clean Prod*, v. 74, p. 183–190. 2014.

MEREDITH J. Theory building through conceptual methods. *International Journal of Operations & Production Management*, 13(5), 311, 1993.

MERINO, E. A. D.; FIGUEIREDO, L. F.; JACOMEL, B.; PALMIERI, A. R.; OGAWA, C.; CAMPOS, L. M. S. Entidades regulatórias como o atendimento às demandas sociais quanto ao desenvolvimento sustentável. *Anais do Seminário Internacional sobre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos - SIREE*. Recife, PE, Brasil, 3. 2013.

MIGUEZ, E. C. *Logística reversa como solução para o problema do lixo eletrônico: benefícios ambientais e financeiros*. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2010.

MIGUEZ, E. C. *Logística reversa como solução para o problema do lixo eletrônico: Benefícios Ambientais e Financeiros*. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 112 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Disponível em: <<http://mma.gov.br>>. Acesso em: 09 out. 2019.

MMA - ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://mma.gov.br>>. Acesso em: 09 ago de 2019. Brasília, 2015.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Plano de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de Orientação*. Brasília, 2012.

MOI, P. C. P. et al. Lixo eletrônico: consequências e possíveis soluções. *Connection Line*, n. 7, 2014.

MONTE, Madson; MORAIS, Danielle. Apoio à decisão na gestão da produção de operações para abastecimento de água urbano baseado no FITradeoff. In: L Simpósio Brasileiro De Pesquisa Operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/apoio-a--decisao-na-gestao-da-producao-de-operacoes-para-abastecimento-de-agua-urbano-baseado--no-fitradeoff>> Acesso em: 24 abr. 2020.

MORRIS, A.; METTERNICHT, G. Assessing effectiveness of WEEE management policy in Australia. *Journal of Environmental Management*, v. 181, p. 218–230, 2016.

MOURA, J.M.B.M. Rejects of Curbside Collection: Gravimetric Composition and Recycling. *Construction Materials*. Dissertation, Masters in Environmental Engineering FURB, Blumenau, SC, Brazil 2016.

MUGNAINI, R.; STREHL, L. Recuperação e impacto da produção científica na era Google: uma análise comparativa entre o Google Acadêmico e a Web of Science. *Encontros Bibli, Florianópolis*, n. esp., 1o sem. 2008.

MURAD,W.; SIWAR, C. Waste management and recycling practices of the urban poor: a case study in Kuala Lumpur city Malaysia. *Waste Manag. Res.*, 25, pp. 3-13. 2007.

N. TOJO. *Extended Producer Responsibility as a Driver for Design Change—Utopia or Reality? Ph.D. Dissertation*. IIIIEE, Lund University, Lund, Sweden, 2004.

N.; SOUZA, Y. S. de. A produção científica sobre internacionalização da educação superior na Web of Science: características gerais e metodológicas. *Educação em Revista*, v. 32, n. 4, p. 229-249, 2016.

NABIZADEH, M.; NABIZADEH, R.; YAGHMAEIAN, K.; MAHVI, A.H.; YUNESIAN, M. Estimation of waste from computers and mobile phones in Iran. *Resour. Conserv. Recycl.*, v. 87 (Supplement C) p. 21-29. 2014.

NAVAZO, J.M.V; MÉNDEZ, G.V; PEIRÓ, L.T. Material flow analysis and energy requirements of mobile phone material recovery process. *Int Life Cycle Assess*, v. 19, p. 567–579. 2014.

NETO, L. G. C. L.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA, A. T. Aplicação do método multicritério fitradeoff para escolha de usina sucroalcooleira para suprimento de cana-de-açúcar, 2016.

NEVES, A. M. *Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos e sua destinação em cooperativas de catadores em São Carlos – SP*. 2015. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

NICHOLAS, James C. *Elementos Econômicos da Gerência do Crescimento*. In: *Conflitos Jurídicos, Econômicos e Ambientais*. Coord. Paulo Roberto Pereira de Souza e Jon Mills. Maringá, UEM, 1995.

NOWAKOWSKI, P. e MRÓWCZYŃSKA, B. Towards sustainable WEEE collection and transportation methods in circular economy - Comparative study for rural and urban settlements. *Resources, Conservation and Recycling*. 135. 93-107. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.016>.

OCDE. Core set of indicators for environmental performance reviews; *a synthesis report by the group on the State of the environment*. Paris, 2016.

OCDE. EPR Policies and Product Design: *Economic Theory and Selected Case Studies*, Environment Policy Committee. Working Group on Waste Prevention and Recycling. 2006.

OCDE. responsabilidade alargada do produtor: Um Manual de Orientação Governos. OCDE, Paris, França, 2001.

OLIVEIRA, M.C.B.R. *Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas para a Reciclagem no Brasil*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

OLIVEIRA, U.R. *Contributions to Improve the Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazil, in the Context of Environmental Sustainability*. UNESP, São Paulo (2016)

ONGONDO, F.O.; WILLIAMS, I.D.; CHERRETT, T.J. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management*. 31 (4), 714–730. 2011.

ONU – Organização das Nações Unidas. O futuro que queremos. 2012. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/03/Rio+20_Futuro_que_queremos_guiia.pdf>. Acesso: 07 nov. 2015.

ORLINS, S; GUAN, D. China's toxic informal e-waste recycling: local approaches to a global environmental problem. *J Clean Prod*.114:71–80. 2016.

PALHA, Rachel Perez. Negotiation throughout flexible and interactive tradeoffs applied to construction procurement. *Automation in Construction*, v. 99, p. 39-51, 2019.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Janeiro de 2003 relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE). *Jornal Oficial da União Europeia*, 27 jan. 2003.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2011/65/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Junho de 2011 relativa à restrição do uso de

determinadas substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos (reformulação). *Jornal Oficial da União Europeia*, 08 jun. 2011.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012 relativa aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) (reformulação). *Jornal Oficial da União Europeia*, 04 jul. 2012.

PASCALE A.; SOSA A.; BARES C.; BATTOCLETTI A.; MOLL, M.J. E-Waste Informal Recycling: An Emerging Source of Lead Exposure in South America. Antonio María José Moll, MD, *Annals of Globe Health*. vol. 82. 2016.

PEGETTI, Ana Lucia; SILVA, Glayse Ferreira Perroni da; BELDERRAIN, Mischel Carmen Neyra. Aplicação do método fitradeoff para a seleção de fornecedores para o serviço de limpeza e conservação. In: li simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2019, Limeira. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2020. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo-2019/papers/aplicacao-do-metodo-fitradeoff-para-a-selecao-de-fornecedores-para-o-servico-de-limpeza-e-conservacao?lang=pt-br>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

PERGHER, Isaac et al. A multi-attribute based FITradeoff tool for Workload control rules selection. *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2017.

PERNAMBUCO. Lei n. 14.236, de 13 de Dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. *Assembleia Legislativa*, Recife, p. 09, dez.. 2010.

PESSÔA, Leonardo & Ferreira, Rodrigo & LAGE, CARLA & ALMEIDA, ADIEL. (2018). Avaliação de impacto de política de decisão: uma proposta utilizando o Fitradeoff. 10.14488/ENEGEP2018_TN_SD_269_537_36580. PNUMA. *Programa das Nações Unidas para o meio ambiente*. Recuperado em 31 de julho de 2013. Disponível em: <<http://www.pnuma.org.br>>. Acesso: 20 de junho de 2017.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o meio ambiente. *Sustainable innovation and technology transfer industrial sector studies: recycling from e-waste to resources*. Nairobi: [s.n.], 2010.

POLÁK, M.; DRÁPALOVÁ, L. Estimation of end of life mobile phones generation: the case study of the Czech Republic. *Waste Management*, v. 32 (8), p. 1583-1591. 2012.

POPE, J.; ANNANDALE, D.; SAUNDERSB, A.M. Conceptualising sustainability assessment. *Environ. Impact Asses. Rev.* v. 24, p. 595–616. 2004.

RADA, E.C.; GGRIGORIU, M.; RAGAZZI, M.; FEDRIZZI, P. Web oriented technologies and equipments for MSW collection. In: Proceedings of the International Conference on Risk Management, *Assessment and Mitigation*, p. 150–153. 2010.

RANGEL, L. A. D., GOMES, L. F. A. M. e CARDOSO, F. P. An Application of the TODIM Method to the Evaluation of Broadband Internet Plans, *Pesquisa Operacional*, v. 31(2), p. 235–249. 2011.

REHN, C.; KRONMAN, U. Bibliometric handbook for Karolinska Institute. Huddinge: *Karolinska Institute*, 2014.

REUTERS, T. *A guide to evaluating research performance with citation data*. 2008. Disponível em: <http://ip-science.thomsonreuters.com/m/pdfs/325133_thomson.pdf>. Acesso em: 15 jan 2018.

Ribeiro, H. et al. *Coleta seletiva com inclusão social*. São Paulo: ANNABLUME, 2009.

ROCHA, A. C. da et al. Lixo Eletrônico: um levantamento da produção científica e dos hot topics publicados na base Web of Science na última década. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 8, n. 2, p. 36-48, 2013.

RODRIGUEZ, Jenny Milena Moreno; KANG, Takanni Hannaka Abreu; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. *Seleção De Fornecedores De Equipamentos Em Empresa De Pesquisa Agropecuária: Aplicação De Duas Abordagens Mcdm/Aa Cenários Distintos*.

ROGERS, D.S.; TIBBEN-LEMBKE, R.S. *Going backwards: reverse logistics trends and practices*. Reno: University of Nevada. p. 283. 1998.

ROSELLI, L. R. P., BORBA, W. D. O., & ALMEIDA, A. T. DE. Aplicação de um problema de ranqueamento de filiais para uma organização no ramo hortifrutigranjeiro usando o método FITradeoff. 2019. https://doi.org/10.14488/enegep2019_tn_sto_292_1650_37168.

ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; Design para modelagem de preferências no método fitradeoff com o apoio da neurociência. *anais do XLIX SBPO*, 2017.

ROSELLI, Lucia Reis Peixoto; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira; FREJ, Eduarda Asfora. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. *Operational Research*, v. 19, n. 4, p. 933-953, 2019.

ROUSIS, K.; MOUSTAKAS, S.; MALAMIS, A.; PAPADOPOULOS, M.; LOIZIDOU. Multi-criteria analysis for the determination of the best WEEE management scenario in Cyprus. *Waste Management*, Volume 28. v.10, Pages 1941-1954. 2008.

ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aid*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SABHA, R. Secretariat E-waste in India. *Research Unit*, IITRR. 2011.

SAPHORES, J. D. M.; OGUNSEITAN, O. A.; SHAPIRO, A. A. Willingness to engage in a pro-environmental behavior: An analysis of e-waste recycling based on a national survey of U.S. households. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 60, p. 49–63, 2012.

SARAPH, J. V.; BENSON, P. G.; SCHROEDER, R. G. An instrument for measuring the critical factors of quality management. *Decision Sciences*, v. 20, n. 4, p. 810- 829, 1989.

SARKIS, J.; HELMS, M. M.; HERVANI, A. A. Reverse Logistics and Social Sustainability. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Malden, v.17, p. 337–354, 2010.

SCOARIS, Raquel Carmen de Oliveira; PEREIRA BENEVIDES, Ana Maria Teresa e SANTIN, Filho Ourides. Elaboração e validação de um instrumento de avaliação de atitudes

frente ao uso de história da ciência no ensino de ciências. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v.8, n.3 , 2009.

SEO, E. S. M.; FINGERMAN, N. N. Sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos: panorama do segmento eletro eletrônicos. *Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, São Paulo, v.6,n.3, p. 03 - 15, 2011.

SHUKLA, S. A fitradeoff approach for assessment and understanding of patient adherence behavior. In: *value in health*. 360 park ave south, new york, ny 10010-1710 usa: elsevier science inc, 2017. P. A322-a322.

SILVA JÚNIOR, S. D. da. Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert e Phrase Completion. *Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia - PMKT*, 2014.

SILVA, E.; OLIVEIRA DE ALMEIDA, G.; GUARNIERI, P.; SILVA, L. Uma análise sobre o uso da Pesquisa Operacional no suporte ao gerenciamento de resíduos eletroeletrônico. *Anais. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP 2018*. 2018.

SILVA, M. E.; BALBINO, D. P.; GÓMEZ, C. P. Consumo sustentável na base da pirâmide: Definindo papéis e obrigações para a efetivação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA*. São Paulo, v. 5, n. 2, p.18-33, mai/ago., 2011.

SILVA, Maisa M. et al. The integration of VFT and FITradeoff multicriteria method for the selection of WCM projects. In: *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. IEEE, 2019. p. 1513-1517.

SILVA, W. D. O.; FONTANA, M. E. Modelo multicritério de apoio à decisão entre comprar e reutilizar embalagens: um estudo de caso. 2017.

SINIR. *Logística Reversa*. Disponível em: <http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa>. Acesso em: 18 jun. 2018.

SOLTANI, A.; HEWAGE, K.; REZA, B.; SADIQ, R. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the contexto of Municipal Solid Waste Management: A review. *Waste Management*, v. 35(1), p. 318-328. 2015.

SONG, Q.; LI, J. A. Review on human health consequences of metals exposure to e-waste in China. *Environmental Pollution*, v. 196, p. 450–461, jan. 2015.

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

SRIVASTAVA, S. K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, v. 9, n. 1, p. 53–80, 2007.

SRIVASTAVA, S.K. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *Int. J. Manage. Rev.* 9 (1), 53–80, 2007.

SUN, M.; YANG, X.; HUISINGH, D.; WANG, R.; WANG, Y. Consumer behavior and perspectives concerning spent household battery collection and recycling in China: a case study. *J. Clean. Prod.*, v. 107, p. 775-785. 2015.

TABOADA, C.; CAVALLAZZI, J. E. A Logística Reversa e o Meio Ambiente: O Caso da Indústria de Computadores. *Revista Mundo Logística*. N.16, p. 18-29, 2010.

TAGHIPOUR, H.; NOWROUZ, P.; JAFARABADI, M.A.; NAZARI, J.; HASHEMI, A.A.; MOSAFERI, M.; DEGHANZADEH, R. E-waste management challenges in Iran: presenting some strategies for improvement of current conditions. *Waste Management Resource* 30, 1138e1144. 2012.

TAMIMI, N.; GERSHON, M. A tool for assessing industry TQM practice versus the Deming philosophy. *Production and Inventory Management Journal*, first quarter, v. 36, n. 1, p. 27-32, 1995.

TANSEL, B. From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges. *Environment International*, v.98, p.35-45, 2017.

TASCA, J. E. et al. An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. *Journal of European Industrial Training*, v. 34, n. 7, p. 631-655, 2010.

TAURINO, R.; POZZI, P.; ZANASI, T. Facile characterization of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) for mechanical recycling. *Waste Management*, v. 30, p. 2601–2607. 2010.

THOMSON REUTERSa. Web of Science Ajuda: Novidades. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/MiGdFx>> Acesso em 04 nov. 2019.

THOMSON REUTERSb. Metodologia de Indexação no Web of Science. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/8sudEU>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

TOJO, Naoko. *EPR programmes: utopia or reality?*. Dissertação de Doutorado. Lund University, Suécia, 2004, executive summary. Disponível em :<<http://www.iiiee.lu.se>> . Acesso em 29 ago. 2005.

TONG, X.; WANG, J. Transnational Flows of E-Waste and Spatial Patterns of Recycling in China. *Eurasian Geography and Economics*. New York, v. 45, n. 8, p. 608–621, 2004.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M.; BARAN, L. R. Classificação dos tipos de Manutenção pelo Método de Análise Multicritério Electre TRI. *Anais. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. VLX SBPO*, p.343-357, 2013.

UN – United Nations. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. General Assembly. Seventieth session. New York, EUA. October, 2015.

USHIZIMA, M. M.; MARINS, F. A. S.; MUNIZ JUNIOR, J. Política Nacional de Resíduos Sólidos: Cenário da Legislação Brasileira com Foco nos Resíduos Eletroeletrônicos. In: *Simpósio De Excelência Em Gestão E Tecnologia*, 11, São Paulo, 2014, *Anais*. São Paulo, Aedb, 2014. p. 1-16.

UTIMURA, S. K. *Reciclagem de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: Separação de ABS e HIPS por Flotação*. 2014. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

VARIN, B.; ROINAT, P. E. Unesco. *The Entrepreneur's guide to computer recycling*, v. 1: Basics for starting up a computer recycling business in emerging markets – UNESCO - sponsored programmes and publications, Paris, 2008.

VEIGA, J. E. *Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI*. Garamond, Rio de Janeiro, 2015.

VICENTE, S. C. S.; FERREIRA, G. T. C. Logística reversa de resíduos sólidos: uma análise crítica dos desafios impostos pela Lei 12.305/10. *Anais*. In: XIV Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2011.

VIEIRA, Augusto Cesar Antunes; FERREIRA, Rodrigo José Pires. Apoio Multicritério a Decisão Em Alocação De Recursos de Capital em Instituição Pública de Ensino Técnico com Base no Método Fitradeoff. *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, v. 7, 2017.

VIEIRA, Keilane dos Santos; GUSMÃO, Ana Paula; SILVA, Maisa Mendonça. Problema de seleção de fornecedores – uma abordagem multicritério usando vft e fitradeoff. In: I simpósio brasileiro de pesquisa operacional, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/papers/problema-de-selecao-de-fornecedores-%E2%80%93-uma-abordagem-multicriterio-usando-vft-e-fitradeoff>> Acesso em: 24 abr. 2020.

WANG, F.; HUISMAN, J.; BALDÉ, K.; STEVELS, A. A system a tic and compatible classification of WEEE. *Proceeding of the Electronics Goes Green 2012 + (EGG)*, v. 1, p. 1-6. Berlin: IEEE, 2012.

WANG, X.; GAUSTAD, G. Prioritizing material recovery for end-of-life printed circuit boards. *Waste Management*, v. 32, p. 1903-1913. 2012.

WEBER M, BORCHERDING K. Behavioral influences on weight judgments in multi-attribute decision-making. *Eur J Oper Res* 1993;67(1):1e12.

WIBOWO, S.; DENG, H. Multi-criteria group decision making for evaluating the performance of e-waste recycling programs under uncertainty. *Waste Management*, v.40, p.127–135. 2015.

WILLIAMS, E. International Activities on e-Waste and Guidelines for Future Work. *National Institute of Environmental Sciences*, Tokyo, Japan, p. 1–11. 2005.

WILLIAMS, E. International Activities on e-Waste and Guidelines for Future Work. *National Institute of Environmental Sciences*, Tokyo, Japan, p. 1–11. 2005.

XANTHOPOULOS, F. A generic analytical quantitative location model for the design of a reverse supply chain. In: Paias, A., Saldanha da Gama, F., (Eds.), EURO Winter Institute on Location and Logistics, *EURO: The Association of European Operational Research Societies*, p. 477–508. 2007.

XAVIER, L.H.; CORRÊA, H.L. Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimentos sustentáveis. São Paulo: Atlas, 2013.

XAVIER; CARVALHO, T.C.M.B. *Gestão de resíduos eletroeletrônicos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

YLÄ-MELLA, J.; KEISKI, R.L.; PONGRÁCZ, E. Recuperação de resíduos eletrônico na Finlândia: percepções dos consumidores com relação à reciclagem e reuso de telefones celulares. *Waste Management*. 45, 374 – 384. 2015.

YLA-MELLA, J.; POIKELA, K.; LEHTINEN, U.; KEISKI, R.L.; PONGRÁCZET, E. Implementation of waste electrical and electronic equipment directive in Finland: evaluation of the collection network and challenges of the effective WEEE management. *Resour Conserv Recy*, v. 86, p. 38–46. 2014.

YONG-HAK, J. Web of Science. Thomson Reuters, 2013.

YOSHIDA, A.; TERAZONO, A.; BALLESTEROS, FC.; Jr, NGUYEN, D-Q.; SUKANDAR, S.; KOJIMA, M. E-waste recycling processes in Indonesia, the Philippines, and Vietnam: A case study of cathode ray tube TVs and monitors. *Resour Conserv Recy* 2016;106:48–58.

YOSHIDA, C. *Competência e as diretrizes da PNRS: conflitos e critérios de harmonização entre as demais legislações e normas*. In: PHILIPPI Jr., A. (Coord). Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. São Paulo: Manole, 2012. cap. 1, p. 3-38.

ZAFEIRAKOPOULOS, I.B.; GENEVOIS, M. E. An Analytic Network Process approach for the environmental aspect selection problem — A case study for a hand blender, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 54, Pages 101-109. 2015.

ZENG, Xianlai; LI, Jinhui; LIU, Lili. Solving spent lithium-ion battery problems in China: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 1759-1767, 2015.

ZLAMPARET, G.; IJOMAH, W.; MIAO, Y.; AWASTHI, A.; ZENG, X.; Li, J. Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem, *Journal of Cleaner Production*, v.149, p. 126-136, 2017.

APÊNDICE A - Entrevista semiestruturada

Aluno(a) Responsável: Ciro Henrique de Araújo Fernandes.

Orientador(a): Prof. Dr. Lúcio Camara e Silva

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste (CAA)

Objetivo da pesquisa:

Propor um modelo de apoio à decisão para apoiar políticas da gestão de sistemas de coleta de resíduos eletroeletrônicos, priorizando alternativas potenciais para sugestão de implementação com ênfase no setor público.

Consentimento de participação:

Declaro que aceito participar do estudo e autorizo a divulgação dos dados obtidos sem a identificação do respondente.

1. A qual público-alvo você pertence?

- Professor/Pesquisador
- Órgão Governamental
- Setor Privado (produtor/importador)
- Outro (especifique): _____.

2. Em qual órgão você atua?

_____.

3. Em qual atividade você atua?

_____.

4. Qual seu grau de escolaridade?

- Ensino médio incompleto
- Ensino médio completo
- Graduação incompleta

- Graduação completa
- Doutorado incompleto
- Doutorado completo
- Outro (especifique): _____.

5. Quais suas principais responsabilidades no cargo em que atua?

_____.

6. Atualmente, como é desenvolvida a coleta de REEE no município? Com que frequência ela é feita a coleta?

_____.

7. Que tipo de transporte é utilizado para fazer a coleta? Quantos veículos são utilizados?

_____.

8. A coleta abrange todo o município ou apenas determinadas regiões? Comente.

_____.

9. Atualmente, quantos funcionários desenvolvem a atividade de coleta de REEE no município?

**10. Há muita demanda para coleta desse tipo de resíduo por parte da população?
Comente.**

11. A instituição desenvolve ações educativas na comunidade sobre o descarte adequado de REEE? Comente.

12. Existe algum tipo de Acordo Setorial para desenvolver ou ampliar as atividades de coleta? Comente.

13. Quais as ações desenvolvidas pela instituição para melhorar a coleta de REEE?

14. Quais os principais desafios observados pelo setor para desenvolver suas atividades de coleta de REEE?

15. Qual o destino dos REEE coletados?

As respostas do questionário acima servirá de complemento às informações do trabalho e auxiliarão em discussões mais adaptadas a realidade do município e na obtenção de uma solução mais coerente.

Após a conclusão do questionário, serão apresentadas a seguir, tabelas com os critérios e alternativas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. O objetivo é coletar o valor de cada avaliação entre critérios e alternativas para obter uma matriz de valores que será utilizada para obter, com auxílio de um software, a ordem das alternativas mais indicadas para melhorar o sistema de coleta de resíduos eletroeletrônicos.

APÊNDICE B - Critérios e suas descrições

Os critérios são tidos como um padrão que serve de base para que as alternativas possam ser comparadas e julgadas. Serão 10 critérios utilizados no desenvolvimento desse trabalho e suas respectivas descrições estão dispostas no Quadro 14 abaixo:

Quadro 14 - Critérios

Grupo	Critério		Descrição
Social	C1	Adaptabilidade com a legislação vigente	O grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais.
	C2	Impacto de aceitação social	O grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE.
	C3	Criação de emprego	O potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado.
	C4	Impacto na diminuição de descarte incorreto	O grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta.
Ambiental	C5	Nível de possíveis impactos ambientais	Possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa.
Econômico	C6	Custo do investimento	O custo incorrido para implementação da alternativa.
	C7	Custo de operação e manutenção	O custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção.
Técnico	C8	Dificuldade técnica	Nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos.
	C9	Adaptabilidade as condições locais	Grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável.
	C10	Funcionalismo	Grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação;

Fonte: o autor (2020)

Todos os critérios desse trabalho são classificados como qualitativos e podem ser avaliados utilizando uma escala chamada *Likert*. Essa escala é um instrumento no qual o respondente manifesta seu grau de concordância, assinalando valores numa escala de 5 (cinco) pontos, sendo: 1. Muito baixo; 2. Baixo; 3. Indistinto; 4. Alto; 5. Muito alto. A escala de mensuração é a mesma para todos os critérios e está dividida conforme Quadro 15 abaixo:

Quadro 15 - Escala likert

Escala Likert				
Muito baixo	Baixo	Indistinto	Alto	Muito Alto
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

Fonte: o autor (2020)

APÊNDICE C - Alternativas e suas descrições

O Quadro 16 abaixo mostra as 10 alternativas selecionadas para o desenvolvimento do trabalho que podem auxiliar o setor de coleta de resíduos eletroeletrônicos a tomar decisões mais consistentes e obter um melhor desempenho no gerenciamento desses resíduos. Cada alternativa envolve um tipo diferente de coleta ou ações que, se desenvolvidas, podem trazer impactos positivos na coleta dos REEE's.

Quadro 16 - Alternativas

	Alternativa	Descrição
1	Coleta porta à porta pela prefeitura	Algumas variações de coletas móveis podem ser encontradas em diferentes países, como a coleta na calçada ou retirada do equipamento entregue diretamente pelos moradores (HICKS et al., 2005 ; LI et al., 2012 ; SAPHORES et al., 2012).
2	Coleta porta à porta por catadores	Em muitos países existem catadores que fazem a coleta de resíduos e fazem a venda para estações de reciclagem (DE SOUZA et al., 2016).
3	Pontos de coleta em lojas de EEE	Pontos de coleta também podem ser localizados nas lojas que vendem novos produtos elétricos e eletrônicos (DE SOUZA et al., 2016; NOWAKOWSKI e BOGNA, 2018).
4	Pontos de coleta em lojas de assistência técnica	Alguns trabalhos mostram a necessidade de integrar a assistência técnica na gestão dos REEE, por ser um setor participante do sistema e também um dos protagonistas nas etapas de descarte (GUARNIERI et al., 2016 , ORLINS e GUAN, 2016).
5	Coleta pela prefeitura com agendamento	Uma forma alternativa dessa coleta é o desperdício sob demanda, organizado por uma ligação telefônica ou por um pedido de site (KRÓL et al., 2016)
7	Lixeiras especiais espalhadas por locais estratégicos / PEVs (Pontos de entrega voluntária)	Podem ser localizadas perto de prédios de apartamentos ou bairros de residências unifamiliares ou outros locais usualmente utilizados: em shopping centers, prefeituras etc. (GOODSHIP e STEVELS, 2012).
8	Participação pública que fomenta a ampliação do conhecimento e consciência sobre descarte adequado de REEE.	Para coletar REEE com sucesso em um país em desenvolvimento, é necessário um programa de conscientização e estímulo para melhorar a consciência pública sobre a importância do descarte adequado (TAGHIPOUR et al., 2012). Educação ambiental nas escolas primárias,

		médio e secundário pode definir o estágio inicial para ambas as mudanças culturais e comportamentais de curto e longo prazo.
9	Fazer um estudo para avaliar a preferência das pessoas para o descarte de determinados produtos e a partir delas criar uma estratégia de coleta.	Cao et al., 2016, Fizeram um estudo que avaliou a conscientização do público sobre REEE na província de Zhejiang (China). A pesquisa estudou também 7 formas de descarte possíveis de determinados produtos a serem feitas pelas pessoas e constatou que os métodos mais usuais de eliminação dos REEE são: “Velho por Novo”, “Venda para comerciantes privados” e “vender às lojas de segunda mão”.
10	Fazer propagandas educativas em massa sobre EPR (o que é, os verdadeiros desafios por trás, etc) e sobre REEE (seus potenciais problemas e as vantagens da sua reciclagem e coleta adequada)	As pessoas, na ausência de um conhecimento abrangente de princípios EPR são propensas a atribuir a principal responsabilidade da reciclagem de REEE para o governo. Este equívoco, até certo ponto, não só aumenta a pressão do governo e prejudica a iniciativa subjetiva do governo, mas também é prejudicial para o estabelecimento de um sistema de reciclagem de REEE eficaz (SUN et al., 2015). De acordo com a experiência dos países desenvolvidos, a reciclagem de REEE é uma tarefa cara e uma combinação de gestão governamental e o financiamento por parte de produtores ou consumidores é a chave para o sucesso (CAO et al., 2016).
11	Estudar a dinâmica de incentivos financeiros oferecidos às pessoas que pretendem descartar REEE.	Um aspecto importante da gestão de lixo eletrônico é a dinâmica dos incentivos financeiros oferecidos a clientes ou usuários finais para eliminação de seu REEE. Como o fator econômico (sob o sistema de depósito-reembolso, a recompra etc.) Afeta o comportamento e eliminação de fluxo de e-resíduos através de vários canais, especialmente em lojas e reciclagem e pontos de recolha do governo local (se houver no sistema). Pesquisas com clientes (por análise do comportamento eliminação) e sistemas de monitoramento rigorosos poderia ser útil no desenvolvimento da qualidade e quantidade do inventário de dados (ISLAM e HUDA, 2019)

Fonte: o autor (2020)

APÊNDICE D - Questionário para construção da Matriz de Consequências

O questionário a seguir (quadros 17 à 27) deverá ser preenchido com a avaliação de cada alternativa com cada critério utilizando a escala *Likert*. Por exemplo: a primeira alternativa “Coleta porta à porta pela prefeitura”, deve ser avaliada para cada um dos 10 critérios, e assim sucessivamente.

Legenda para a escala *Likert*:

Muito baixo	Baixo	Indistinto	Alto	Muito Alto
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

- Marcar com um “x” o valor da avaliação de cada critério com cada alternativa.

Quadro 17 - Avaliação da alternativa 1 com os critérios

Alternativa analisada:	1. Coleta porta à porta pela prefeitura				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					

Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 18 - Avaliação da alternativa 2 com os critérios

Alternativa analisada:	2. Coleta porta à porta por catadores				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					

Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 19 - Avaliação da alternativa 3 com os critérios

Alternativa analisada:	3. Pontos de coleta em lojas de assistência técnica				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da					

região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 20 - Avaliação da alternativa 4 com os critérios

Alternativa analisada:	1. Pontos de coleta em lojas de assistência técnica				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					

Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					
---	--	--	--	--	--

Fonte: o autor (2020)

Quadro 21 - Avaliação da alternativa 5 com os critérios

Alternativa analisada:	5. Coleta pela prefeitura com agendamento				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 22 - Avaliação da alternativa 6 com os critérios

Alternativa analisada:	6. Lixeiras especiais espalhadas por locais estratégicos / PEVs (Pontos de entrega voluntária)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 23 - Avaliação da alternativa 7 com os critérios

Alternativa analisada:	7. Participação pública que fomenta a ampliação do conhecimento e consciência sobre descarte adequado de REEE.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 24 - Avaliação da alternativa 8 com os critérios

Alternativa analisada:	8. Fazer um estudo para avaliar a preferência das pessoas para o descarte de determinados produtos e a partir delas criar uma estratégia de coleta.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 25 - Avaliação da alternativa 9 com os critérios

Alternativa analisada:	9. Fazer propagandas educativas em massa sobre EPR (o que é, os verdadeiros desafios por trás, etc) e sobre REEE (seus potenciais problemas e as vantagens da sua reciclagem e coleta adequada)				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)

Quadro 26 - Avaliação da alternativa 10 com os critérios

Alternativa analisada:	10. Estudar a dinâmica de incentivos financeiros oferecidos às pessoas que pretendem descartar REEE.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública dos serviços de coleta de REEE?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau potencial de absorção da força de trabalho de acordo com os requisitos que serão criados pela aplicação do sistema de coleta aplicado?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa aumenta o número de REEE coletado e evita que ele seja descartado de forma incorreta?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau das possíveis consequências para o meio ambiente causado pela alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para implementação da alternativa?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau do custo incorrido para manter esta opção e sua manutenção?					
Numa escala de 1 a 5, qual o nível de dificuldade de implantar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções requeridos?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa alternativa pode ter uma aplicação sem obstáculos, com base nas características particulares da região, como: ter quantidades disponíveis de resíduos para gerenciamento, ter capacidade mínima necessária para que essa opção seja viável?					
Numa escala de 1 a 5, qual o grau em que essa opção tem potencial para seguir constante e suave; Requisitos em manutenção de pessoal especializado; Simplicidade de operação?					

Fonte: o autor (2020)